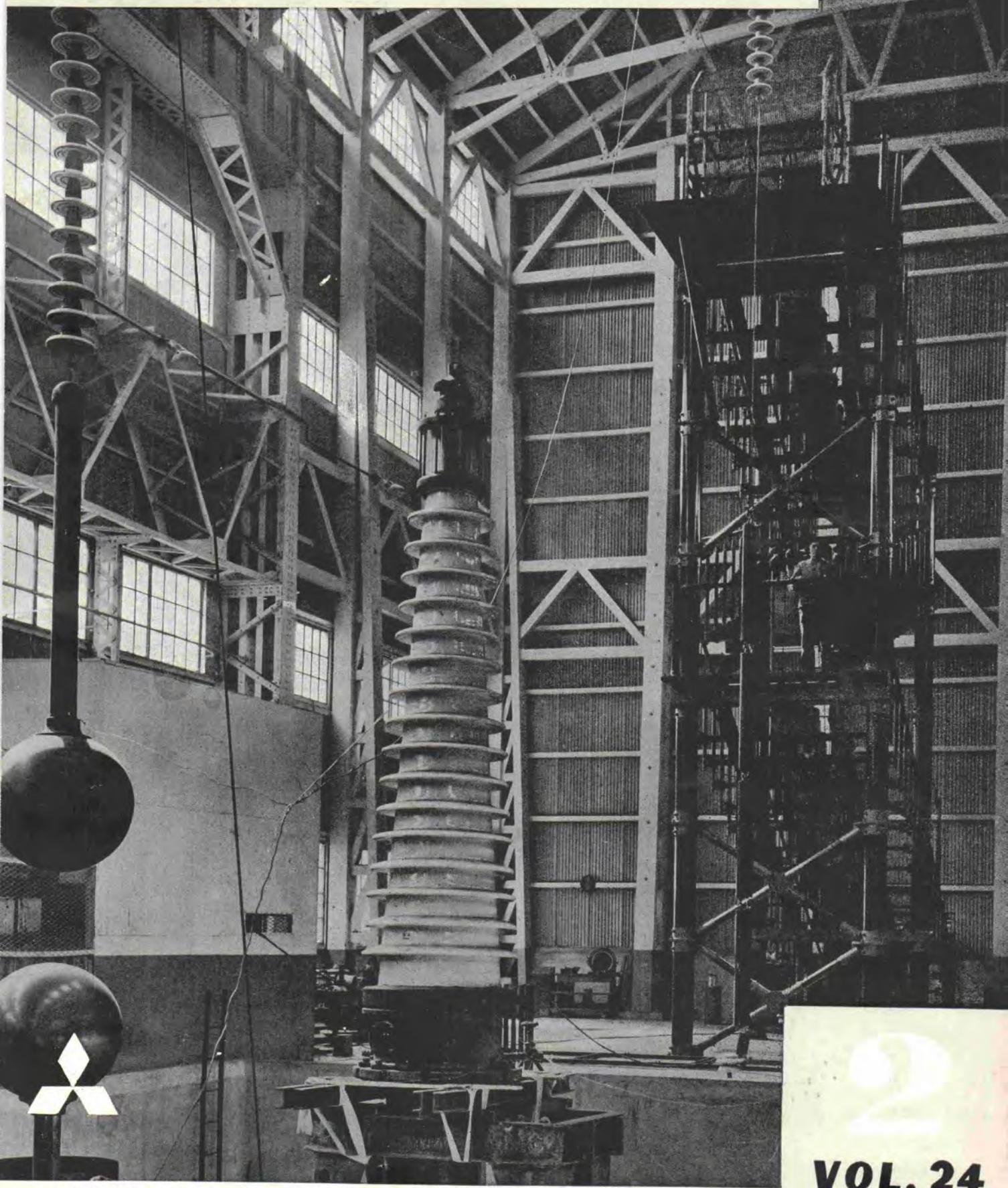


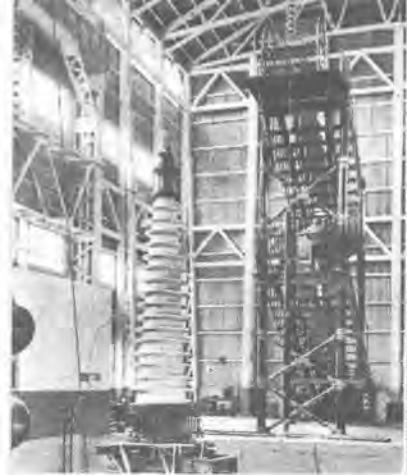
MITSUBISHI - DENKI

三菱電機



三菱電機株式會社

**VOL. 24
1950**



三菱電機

寫真解説

伊丹製作所に設備せられた 3,600 KV 衝撃電壓發生器とその前方に 750 無球間隙（左端）と試作 230 KV 油入コンデンサー套管中央が見えている。
230 KV 套管の衝擊閃絡試験中の寫真で、閃絡値は $1 \times 40\mu\text{s}$ の波形で 1,270 KV であった。

三菱電機株式會社

本社

東京都千代田區丸ノ内（丸ビル2階）
電話丸ノ内（3）324-1-9
施設部 千代田區神田鍛冶町3の3
電話神田（25）3338・3414・4207・4222・
5196・6040

大阪營業所 大阪市北區（阪神ビル内）
電話福島（45）5251-7, 2487

名古屋營業所 名古屋市中區廣小路通2の4
電話東（4）89-2338・4710-4711

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

札幌營業所 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 名古屋市東區矢田町

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 福島縣郡山市宇摩橋町
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 岐阜縣恵那郡中津町
福岡工場 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. 2

目次

電氣機器劣化程度の判定について（誘電體損失の測定）	2
近畿日鐵 片山史雄 井原 新	
變壓器の衝擊電壓試験（1）	7
木村久雄 堀 真幸	
電氣用刷子の磨耗（1）	14
森田義男 前田利晴	
ロートトロールの性能と應用	29
片岡高示 竹内真一	
軸電流による軸受メタルの磨耗について	40
片山仁八郎	
『鑄鐵製グリット』について	42
田中敬一	

VOL. 24 NO. 3 内容豫定

超音波探傷装置について	豊田 準敬 三吉
連接々地試験	横須賀 正壽 安二
電氣用刷子の磨耗（2）	森前 田義 利 男晴
ラジオヒータによる蓄電器套管の乾燥について	馬渡 高文 敬 夫明 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(0)

日本出版協会員番號 213013

電氣機器劣化程度の判定について (誘電體損失の測定)

近畿日鐵技術局電氣部

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氣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、10年位になると大修理をする時期になつ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點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画も立ち能率よく、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。

さて電氣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。從来は主にメガによる絶縁抵抗測定によつていたが、これは裝置が簡単なので現場判定で事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、耐壓試験を施行すると不合格になつたりすることがある。自下のところ最も確実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 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 $\delta = \theta$ なれば $\sin \delta = \tan \delta$ 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. 真空管

を用いた相差計によるもの、3. 電力計を用うるもの等がある。このうち1.は實驗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.は真空管を用いる點及び電圧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。

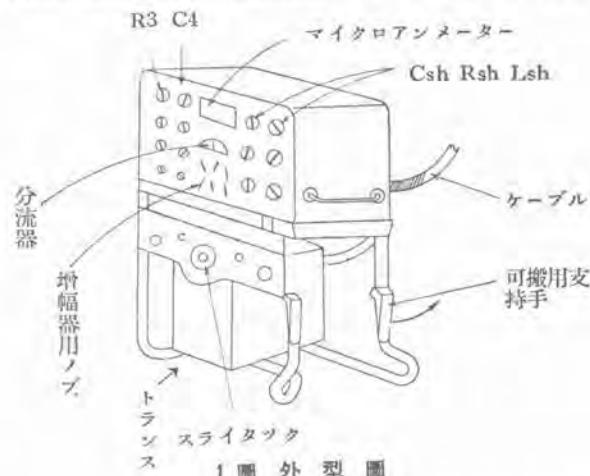
この外に最近に出來たもので力率計を改良して低力率に使えるようにしたものがあるが、これは靜電容量の非常に小さい、例えば套管等には無効進電流が少なくて計器を十分に振らせることができない缺點がある。

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 ができる、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. 誘電體プリツジの概要

套管、變壓器發電機巻線及び靜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。これは圖示の如くプリツジ本體電源部ケーブルの三部よりなる。

プリツジ本體の中にはプリツジ回路、遮蔽回路及び標準空氣蓄電器がある。電源部はプリツジ本體の下にあり



13.8 KV/120 V 變壓器電圧をかえる單捲變壓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 1.3m でブリッジ本體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。

プリッジの回路、結線図に示すように手動の可変型抵抗器 (R^3) 可変型蓄電器 ($C4$) 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属函の中に收められる。この函は更に接地された金属の函につつまれている。この二つの函にて囲まれる空間は標準空氣蓄電器を作るため利用され、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プリッジ回路より遮蔽への損失を消去するようになつてゐる。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断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す。

$$\begin{aligned}C_1 &= \text{被試験物} \\C_2 &= \text{標準空気コンデンサー} = 165\text{mNF} \\R_s &= 0\infty \text{ 1111.1}\Omega \\R_d &= 2(5.5\infty(60\infty)318.5\Omega(50\infty)) \\C &= 0.001\infty 31.111\text{mF}\end{aligned}$$

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圧を印加し $C4 R3$ 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、二重平衡を探らなくてよい。ブリッジ平衡の場合は次式はより被試験物の静電容電(C)量電體力率が算出される。

50~ の場合は $R4=318.8\text{ W}$ 60 cy の場合は 265.5 W に切換える

$$\begin{aligned} \text{被試驗物靜電容量} &= C_1 = C_2 \times \frac{R_4}{R_3^2} - C_2 \times \frac{265.5}{R_3} (60\text{cy}) \\ &= C_2 \times \frac{318.8}{R_3^2} (50\text{cy}) \end{aligned}$$

標準空気蓄電器の静電容量は工場においてそのセットについて正確に測定し運転中変化のないよう間隔片を挿入する。ただし設計値は $165 \mu\mu F$ である。

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

ついでに誘電体損失は $W = E^2 \cdot 2\pi f \cdot C \cos \theta$ で計算できる測定範囲。最高の測定電圧は 19.8 KV で以下單捲變壓器を順次電圧を變えうる。

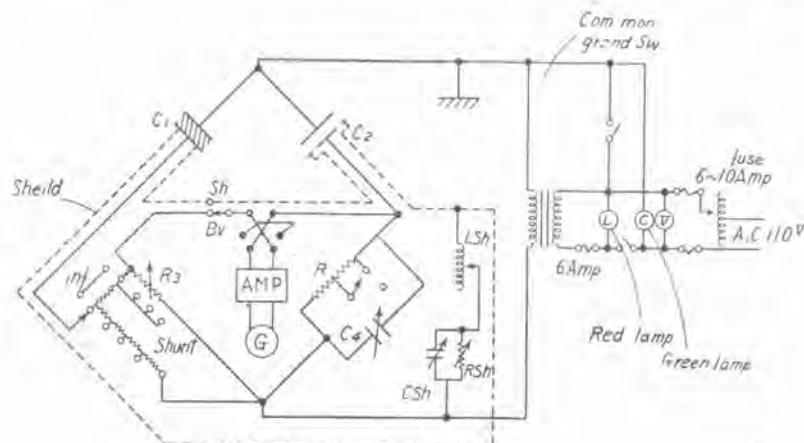
最大の可測容量は $1.92 \mu F$ 最少のそれは $0.0 \sim 0.395 \mu F$ で 50 cy $47.5 \mu F$ である。

次に誘電體力率の測定範囲は 0.1% 位から 3.1% 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と可燃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両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、値のある平均を求ることにより除かれる。

4. 現場における実測の結果

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

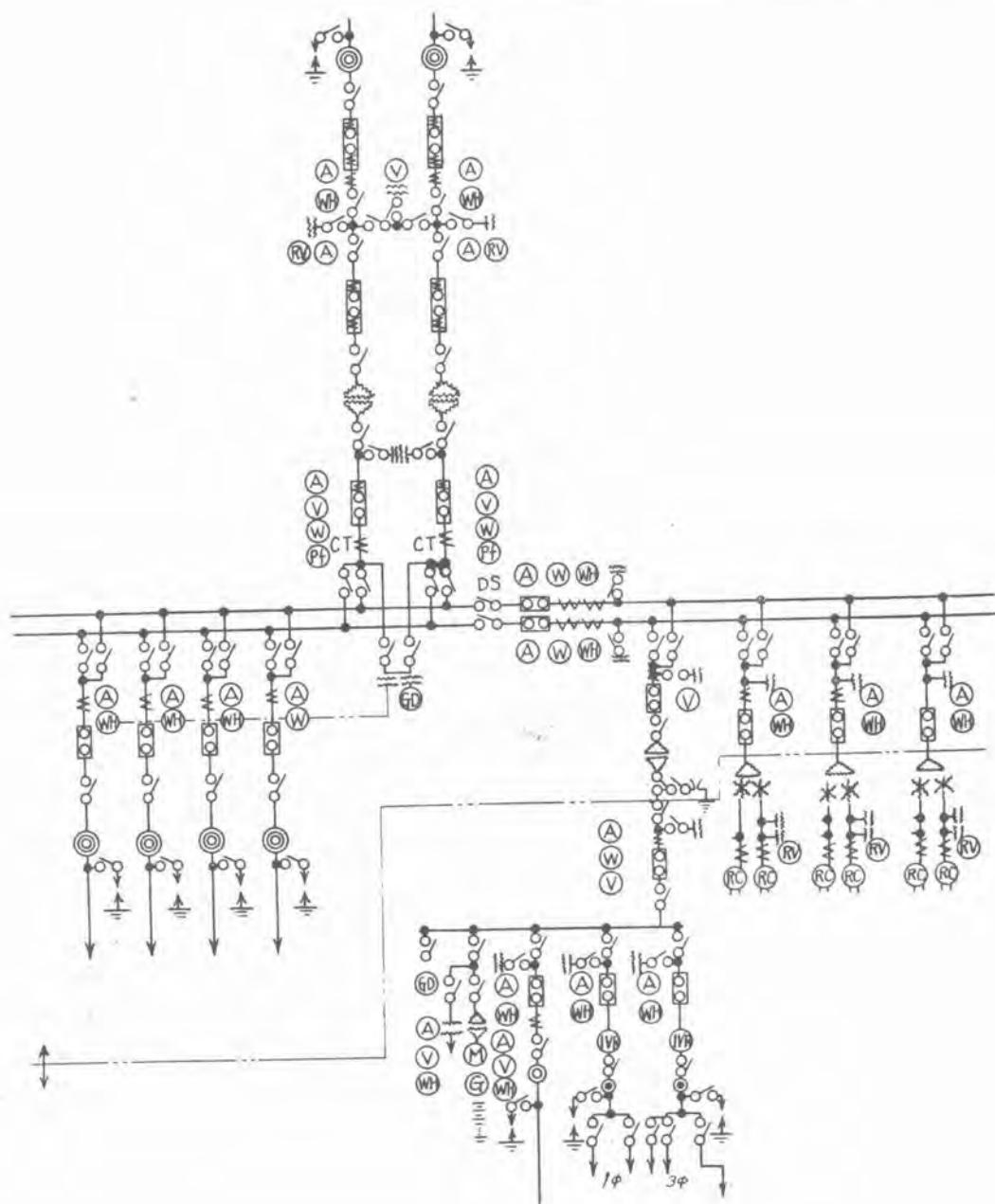


角を測定した。ここにその実測値を報告する。

先ずこの變電所の單線結線圖を示せば3圖の如

すなわち 70 KV にて受電し 3000 KVA の変圧器 6 台にて 30 KV に降圧し、その一部を他の発電所に送電し残りを更に回転變流機用變速器にて 550 V に降し 2,000 KW, 1,500 V の回転變流機を 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断器に使用せられている套管で本體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。また測定電圧は 10 KV の 60~交流電圧を以てした。



3 圖

機器	番號	温度	静電容量	損失角	製作者	型	機器	番號	温度	静電容量	換失角	製作者	型	
OCB 71	1	11°C	184μF	1.8%	A社	蓄電器	OCB 36	1	11°C	110	14.2	B社	コムバ ウンド グ	
	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	〃	〃		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	〃	〃		5	11°C	61	6.0	〃	〃	
	2	〃	194	0.7	〃	〃		6	〃	58	4.65	〃	〃	
	3	〃	192	0.98	〃	〃		OCB 37	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	〃	〃	
OOB 74	1	9°C	205	3.2	〃	〃		5	〃	124	16.9	〃	〃	
	2	〃	201	1.8	〃	〃		6	〃	121	8.6	〃	〃	
	3	〃	207	3.6	〃	〃		OCB 38	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	〃	〃		5	〃	76	18.8	〃	〃	
	2	〃	172	2.5	〃	〃		6	〃	138	25	〃	〃	
	3	〃	159	2.2	〃	〃		OCB 39	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	164	14.2	B社	コムバ ウンド		OCB 40	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 41	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	温度	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	コムバウンド	

損失角 tan %											計
A社中川	70KV	蓄舊	6	9	3	5	1				24
30KV	蓄舊		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
E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		
$\mu\mu F$			$tan \alpha$			$\mu\mu F$			$tan \alpha$		
HE	1,700	0.05	1,670	0.03	1,700	0.4	1,740	0.8			
									$\mu\mu F$	$tan \alpha$	$\mu\mu E$
									1,760	0.6	1,700
HL	2,10	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			
									2,491	0.8	2,489
										0.7	

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	$\mu\mu F$	$tan \alpha$						
HE	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	(自ケーブル入り)			

變 壓 器

100KVA, 33KV/.3KV 1929 B社
No.1 530 $\mu\mu F$ 8% No.2 515 $\mu\mu F$ 6% No.3 494 $\mu\mu F$ 3%

變 流 器 70KV, (8-13°C)

	A社	A社	E社	E社		
$\mu\mu F$	282	3.4	100	90	295	278
$tan \alpha$ %	2.2	7.1	2.7	4	4.2	5

計器用變壓器 70KV/110V

	A社	A社	A社	A社	A社	B社
$\mu\mu F$	2.4	774	643	655	680	668
$tan \alpha$ %	31	31	2	2.5	3.4	2.3

變 流 器 30KV

	A社	A社	A社	B社	B社	B社	B社	B社	B社	B社	B社
$\mu\mu F$	126	117	160	133	114	119	164	116	125	174	170
$tan \alpha$ %	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						
$\mu\mu F$	148	1.9	144	136	142						
$tan \alpha$ %	23	28	22	22	23						

計器用變壓器 30KV/110V

	A社	A社	A社	B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
$tan \alpha$ %	20	31	8.9	7.0	6.7	11.1	15	7.8	7.7	6.7	7.0

油

劣化油 tan α 31%

良油	溫度	13°C	55	81	99
	$tan \alpha$ %	0.2	1.9	7.0	16

迴轉變流機 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	$\mu\mu F$	5.5%	30,000	$\mu\mu F$
L. Arm.	33,500	6.1%	2 ² ,500	$\mu\mu F$	2.6%
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

油入遮斷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。電圧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。ことにコムバ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。

なかで測定電圧を變更したものがあるが、電圧を上げて行つた時の損失角と電圧を下げる時の値とが一致せず、しかも後の方が大きくなつてゐる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%位においているようであるが、いま少し樂にしても良いのではないか。例えば6%位をしたいと思う。

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。

次に迴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かつた。

最後に測定に當り多大の御世話になつた中川變電所員各位に深謝する次第である。

變壓器の衝擊電壓試験 (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、同論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擊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 木村久男
伊丹製作所検査課 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来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できます(1)。またこの現象の理論的研究は今世紀の初め頃から獨乙、米國、日本において、Wagner, Bohne, Blume, Boyajian, Weed, 鳥井、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擊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從つてその衝擊電壓試験を實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。變壓器の衝擊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

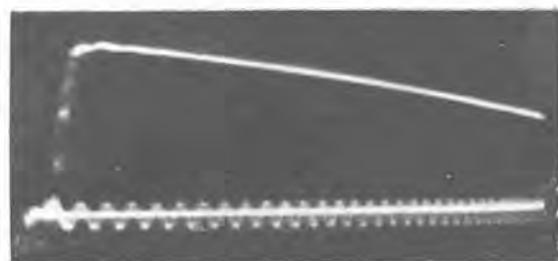
關係電壓階級 (KV)	1937年定義による BIL (KV)	同左(5%減) (KV)	1940年定義による BIL (KV)
1.2	32	30	30
2.5	53	50	45
5.0	63	60	60
8.66	80	76	75
—	—	—	95
15	100	95	110
23	150	143	150
34.5	190	180	200
46	250	238	250
64	360	342	350
92	470	447	450
115	570	542	550
138	680	646	650
161	790	750	750
196	950	900	900
230	1100	1050	1050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

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升して變壓器の套管または避雷器によ

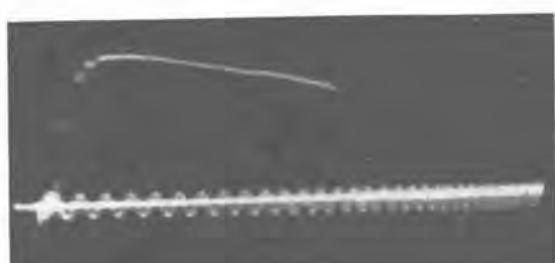
2 表 (a)



(a)

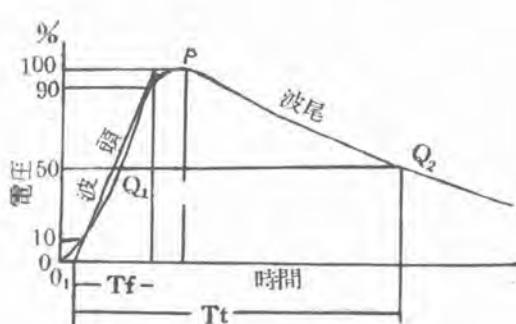


(b)

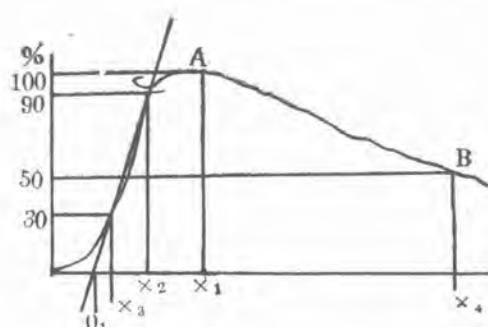


(c)

1 圖



(a)



(b)

2 圖

絶縁階級 (級)	全波電圧 (KV)	截断波電圧 (KV)
3 S	20	25
3 { A	45	55
	30	40
6 { A	60	70
	45	55
10	90	105
20	150	170
30	200	230
	40	250
40	250	290
50	300	340
頭波	350	400
	70	460
60	550	630
70	750	870
100	1050	1210
140		
200		

(a) 註 1
3 S は中古品
に對する値を
示す。

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

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必要を生じる。

2. 我が國及び米國における試験規格⁽²⁾⁻⁽⁴⁾

我が國においては最初この方面的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い昭和10

年 11 月變壓器衝擊電壓試驗調査に關する委員會が組織されて試験規格の作成に着手して以來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擊電壓試験⁽⁴⁾、衝擊電壓測定法⁽⁵⁾、變壓器衝擊電壓試験⁽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_t 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ふこともいわれているが衝擊電壓に關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 $0.9 E$ をと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 $2x_2x_3$ を取つてゐる。

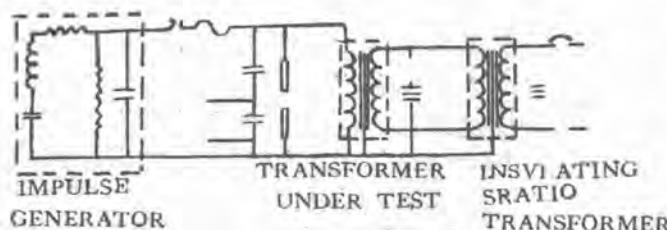
2. 衝擊電壓波高値

兩者の値を 2 表 (a) 及び (d) に掲げる。

3. 試験項目

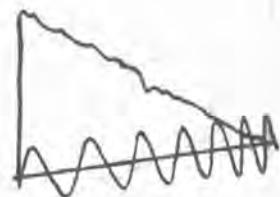
一端接地（全波及び截斷波各 1 回）及び非接地（全波 1 回）試験を行ひこの場合前試験においては供試變壓器の對地絕緣が印加衝擊電壓に耐えることを確かめる以外に巻線各部絕緣が衝擊電壓の印加により巻線内部に生起する電位振動に基く異常電位傾度に耐えることを確かめることを目標とし全波試験は内部電位振動を充分發展せしめることを主眼としているに對して截斷波試験は急峻な電位變化により電壓印加端子附近の巻線に沿い電位傾度を集中して課することを目標としている。また後の試験においては巻線内部に生起する電位振動によつて生じる印加電壓より高い對地電壓に對して巻線の絕緣及耐えることを確かめる一方この電壓によりたとえ中性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。そしてこの衝擊電壓試験中變壓器は定格電壓定格周波數で勵磁し衝擊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. 勵磁の效果の少ないとすなわち余程特殊の事情のない限り衝擊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励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. 衝擊電壓試験の方法

1. 試験

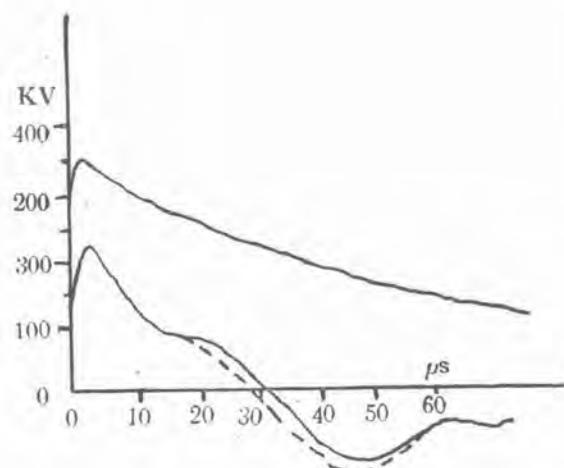
ア. 過渡現象直視装置による測定

正規試験を實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擊電壓發生器の回路常數を決定する。

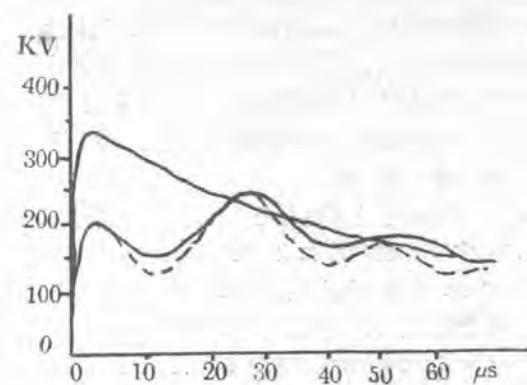
當所における從來の測定結果によると過渡現象直視装置による測定と正規試験の測定とは波形電壓變動率等においてかなり一致する結果を示しており兩者の波形の一例を示すと 5 圖の様である。同圖は 50,000 KVA 單相 220 KV 外鐵型變壓器の試験の際の結果を示すもので兩者の波高値をそろえて比較したものであつて (a) 及び (b) は低壓側 (44 KV) 印加 (c) 及び (d) は高壓側 (220/ $\sqrt{3}$ KV) 印加の一端接地及び非接地の各場合を示すもので實線は正規試験、點線は過渡現象直視装置による結果を示したものである。

4. 電壓變動率の決定

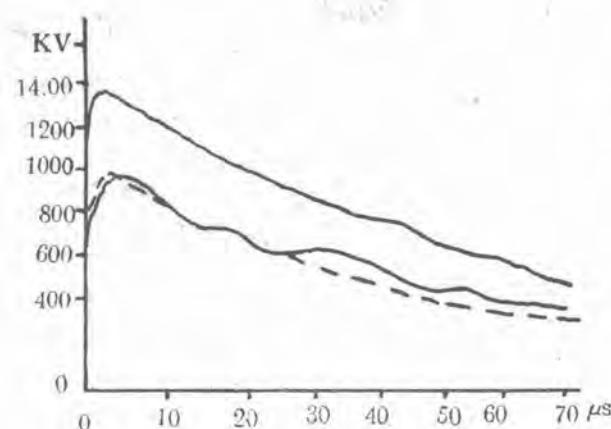
衝擊電壓發生器に供試變壓器を接続した場合の印加電壓はこれを接続しない場合の發生電壓とは異なるが供試變壓器に繰り返し試験電壓附近の衝擊波を印加することは好ましくなくただ 1 回の電壓印加で所定の電壓値を得を様に整定しなければならない。このためには衝擊電壓發生器の充電電壓と發生電壓が直線的關係にある場合には試験電壓波高値の 50% 程度の低減電壓における測定値を直線的に延長して外挿法によつて充電電壓を決定する。當所において行つた 3 相 115 KV 12,000 KVA 變壓器の電壓變動



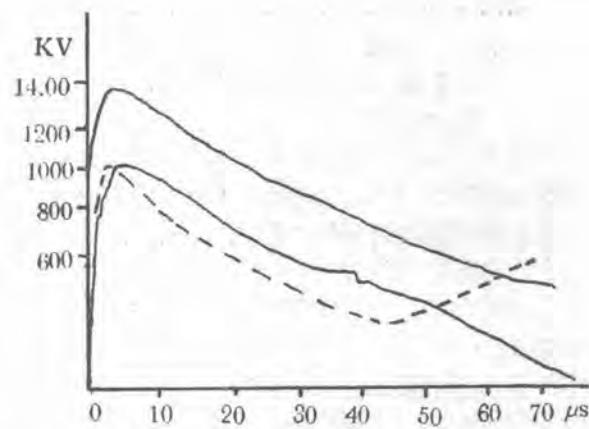
(a)



(b)



(c)



(d)

3 表

項目	充電電圧 (KV)	無負荷発生電圧 E'_0 (KV)	變壓器印加電圧 E' (KV)	E'_0/E' (%)	直視装置による E'/E_0 (%)	所要充電電圧 (KV)
高壓非接地	11	446	356	80.0	76.3	16.6
高壓接地	11	446	391	88.2	90.0	14.8
低壓非接地	9	82	74.5	91.0	85.0	12.4
低壓接地	9	82	7.22	88.0	75.6	16.6

5

圖

4 表

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

率測定の例を示せば3表の様になる。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

$$E_0 = E \times \frac{E'_0}{E'}$$

なる無負荷電圧波高値に對應する衝撃電圧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. 衝撃電圧發生器

現在衝撃電圧試験に使用されている衝撃電圧發生器は

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、衝撃波高電壓計等があるが波形波高値の判定と共に故障検出の方法として専ら陰極線またはブラ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、故障検出としてコロナ試験器を併用して好結果を得ている。



6 圖

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変化が少ない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. オシログラフ自體によるもの

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對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くか抵抗自體のインダクタンスと大地間の容量の影響を受けて電圧波形が變歪する。このため抵抗は無誘導と共に大

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 $a b$ 間の電圧は

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

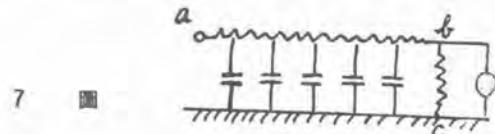
となり $E_t = E(e^{-\alpha_1 t} - e^{-\alpha_2 t})$ が侵入した場合には

$$e \approx \frac{R_2}{R_1} E \left(e^{-\alpha_1 t} - e^{-\alpha_2 t} \right) + \frac{R_2}{R_1} E 2 \sum_{m=1}^{\infty} \left[\frac{d_1}{\alpha_1 - \frac{\pi^2 m^2}{C_g R_1}} \left(e^{-\alpha_1 f_1} - e^{-\alpha_1 f_2} \right) \right. \\ \left. - \frac{\alpha_2}{\alpha_2 - \frac{\pi^2 m^2}{C_g R_1}} \left(e^{-\alpha_2 f_1} - e^{-\alpha_2 f_2} \right) \right]$$

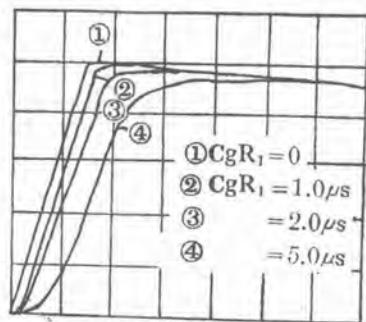
となり ($1.5 \times 40 \mu S$) の衝撃波に對する C_g の影響を 8 圖に示す、このために $R_1 C_g$ の値を $2 \mu S$ 以下にすることによつて波形の變歪を殆んど無いとみて差支ない程度にすることができる。

またこの靜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。

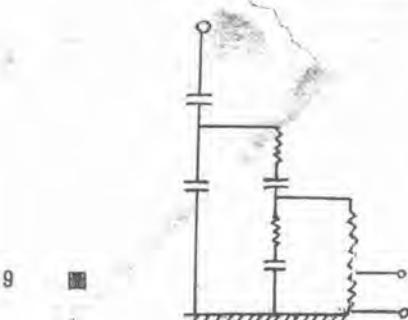
組み合せ分圧器としては 9 圖にその一例を示す。抵抗及び容量の値を適當に選ぶことによつて分圧器の誤差を除き得ると共に 交流重疊の場合ならびに套管等を利用した便利な回路として利用の價値あるものである。



7 圖



8 圖



9 圖

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圧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を作りものであり、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いるがなお損傷の種類及び箇所の検出は困難であつて今後の研究が必要である。

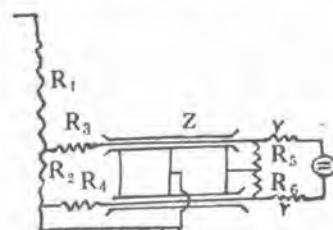
衝撃電圧試験の際に生じる変圧器の損傷をその検出容易なもの順に分類すると

1. 主絶縁を含む巻線大地間
2. 巷線間
3. 巷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. 巷間（ターン間）

等が挙げられる。これらに對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

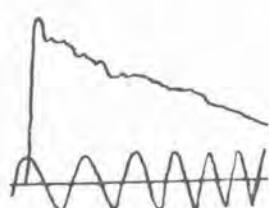
この例をオシログラムによつて示すと 11 圖線路端子か



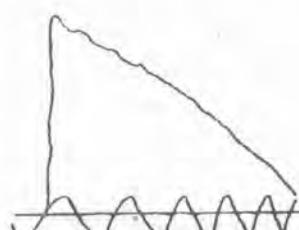
10 圖



11 圖



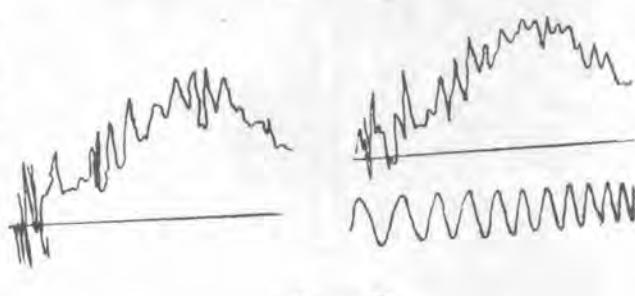
12 圖



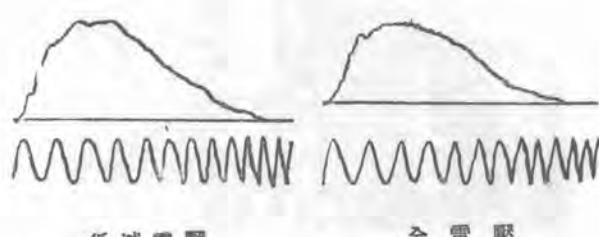
13 圖



14 圖



15 圖



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圧の時と電全電圧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 卷線の 0.1% のターン間の損傷

15 圖 前記 13 圖の電圧波形に對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 卷線の 9% を含むタップ間の損傷

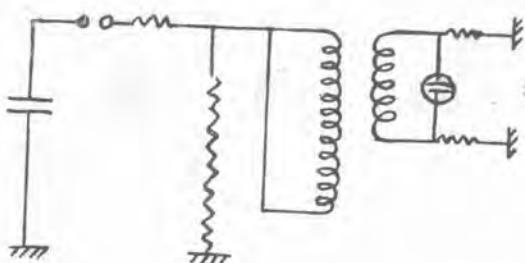
3. 二次巻線の不平衡電流を測定する方法

変圧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変圧器が 2 台ある場合には 18 圖の接續により同様に損傷を検出することができる⁽¹³⁾。

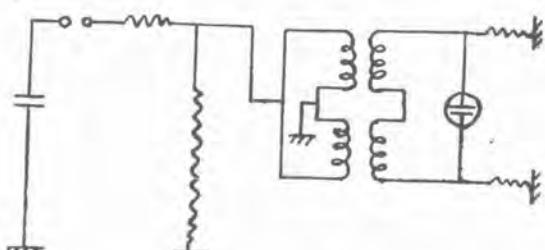
以上の方は最近當所で行つて種々の変圧器の破壊試験においても採用した方法でその結果の詳細は後に記載する。

4. 電流計を用いる方法

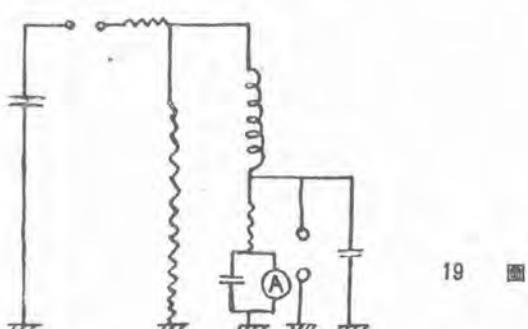
19 圖、20 圖に示す様に接地電流または平衡電圧を電



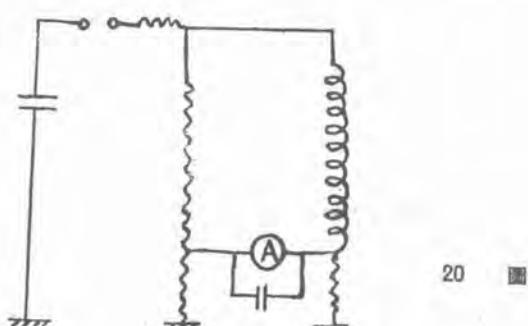
17 圖



18 圖



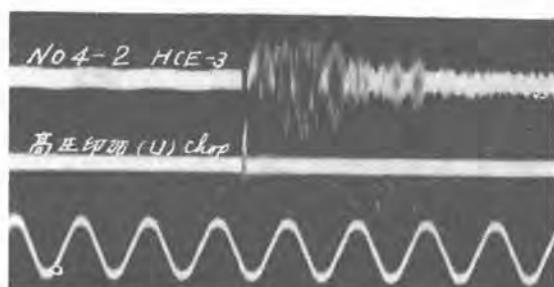
19 圖



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側に取り付け内部に発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. 常規周波数の観察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) 日本電氣工藝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 AI.E.E. Technical paper 48—291. Sep. 1. 48.
- (12) J. H. Hagenguth; Progress in impulse testing of transformer AIEE Trou. 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検出装置「三菱電機」(昭 14—7)

電 気 用 刷 子 の 磨 耗 (1)

種々の機会に小容量の実用機を用いて、大気中、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。実用における大気中の磨耗は僅かな機械的条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 数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実験を集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発表されているが、実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、実験機実験條件によつては、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実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実用機を用いて、主として電気黒鉛刷子の磨耗を對照とし、大気中、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実験から磨耗の実用結果を得ようと試みたものである。しかし本実験は何れも断片的でしかも実用機であつたため、実験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、一應小容量の実用機における

磨耗状況その他の大略を窺い知るには十分であろうと思われる。

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

Ⅰで大気中の場合と水、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、個々の実験の關聯性、及び多少の考察を加える事にした。

実験中の整流及び整流子面の状況については、磨耗実験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 験 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 験 の 組 合 せ

實驗目的	大気中の磨耗	負荷電流の磨耗	天黒刷子の磨耗	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	載質天然黒鉛系	MG9RB R-140 EG-9 SA-45	EG-41 MG9RB サカエ 11R	EG-41	MG9RB 電氣黒鉛系刷子	EG-41	EG-41	GH 325 P-1 EG-41 C
刷子の切方	[I] [III] [III]	[I]	[I]	[I]	[I]	[I]	[I] [III] [III]	[III]	[I] [III] [III]	[I]
實 験 機	1.5KW 充電發電機	1.5KW 充電發電機	375W 充電發電機	真鍮硬質ゴムマ滑動環 台 0.5HP (径 32mm)	ヨーマ振動 臺 0.5HP 統架電動機	18 気用エンジン 3 KW 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) 水霧中	負荷電流一定(25A/cm ²) 油附着	負荷電流一定(0 A/cm ²) 油、水、空 中比較	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 数	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

電氣黒鉛 EG-41 刷子を用いた實驗であるが、この外に數種の刷子、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實驗の場合は、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雑であり、實驗の對照にも不便であるので、Ⅲ～Ⅶ の個々の場合にて述べる事とし、ここでは本報告が含む實驗の範囲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。

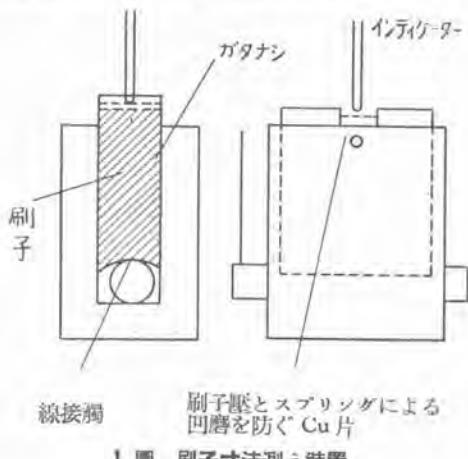
2. 磨耗寸法の測定その他

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

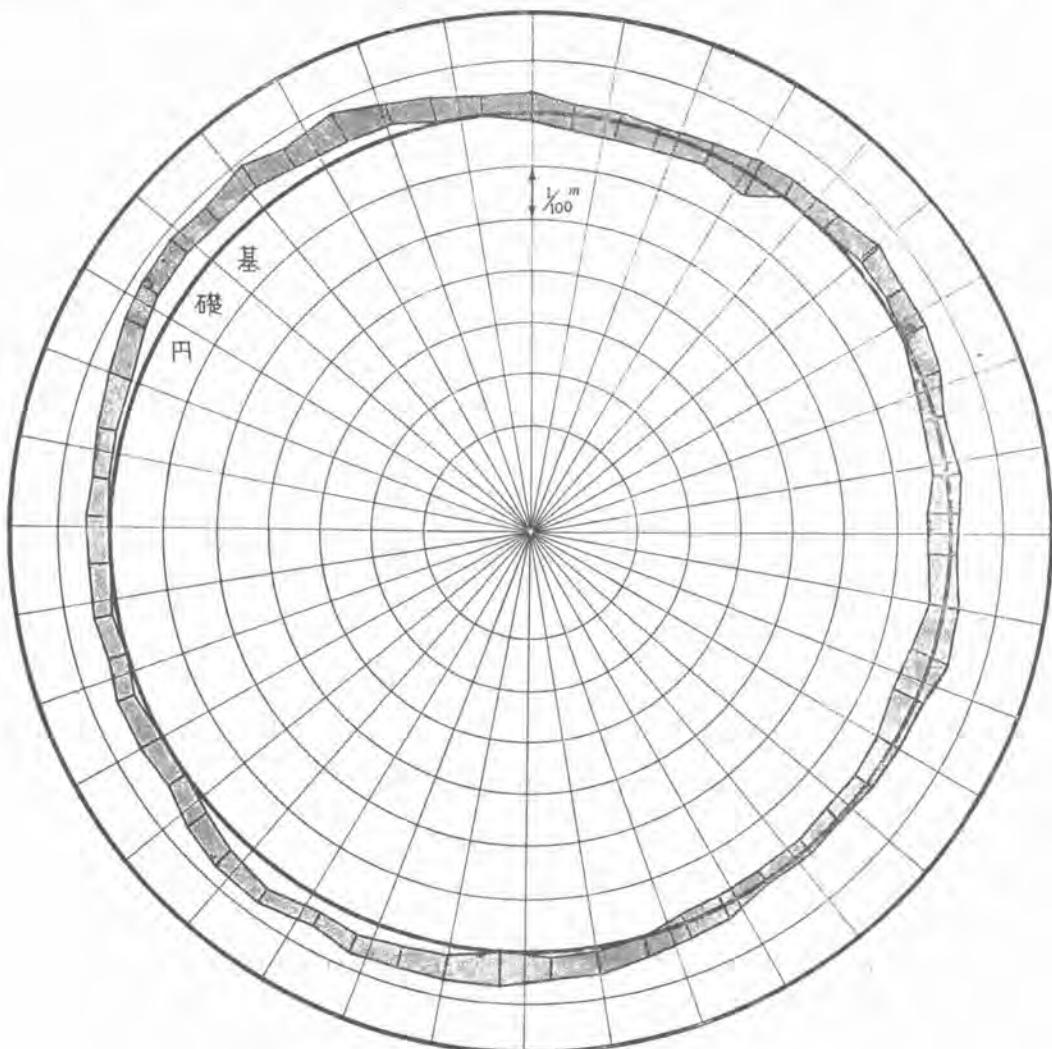
氣中で約40時間程度のすり合せをした。

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ツチメントをつけ、刷子中央における磨減寸法をヨハンソンプローツクゲージと比較測定した。1圖は寸法測定のアタツチメントである。

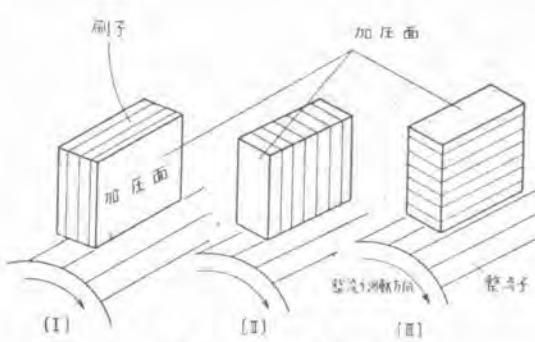
これを用うるとたとえ刷子が片ベリを起しても特別の



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 曲線の巾は軸承によるもの)
曲線内の放射線は測定點の位置を示す



3図 刷子の切方

2表 1.5V 充電發電機による實驗條件

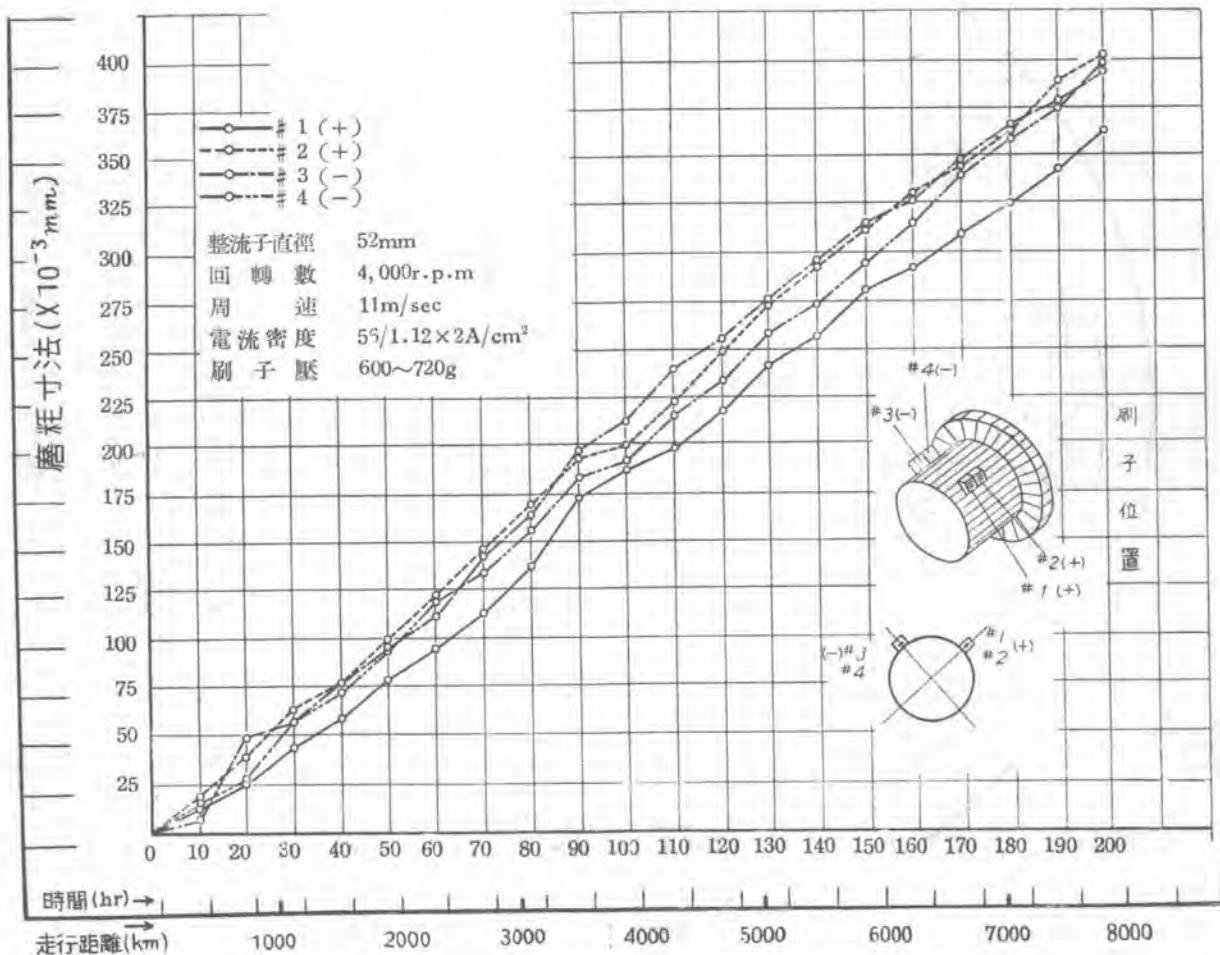
項目	値	項目	値
整流子直徑	52mm	周速度	11m/sec
負荷電流	56A/27V	刷子寸法	$1.12\text{cm}^2 \times 2$
界磁電流	0.69~0.74A	繼鐵溫度	75°C一定
刷子電流密度	25A/cm ²	整流子偏心	0.006~0.007 mm
回轉數	4,000r.p.m	刷子 No. 1(+)	680 gr
全走行距離	8,000 km	ノ 2(+)	740
走行距離/10hr	39.6km	ノ 3(-)	600~660
運轉時間/1日	20 日	ノ 4(-)	610~720

易々とよく外は、中央でその消耗寸法の平均を測定する事ができる。なお刷子は運動中は相當の高溫になつておる、これを取りはずして室温において測定するのであるが、實驗の温度上昇による膨張殘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リメータで測定し、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動ごとに測定し、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、平均的な溫度範囲を示し参考に供した。

2. 刷子の切り方

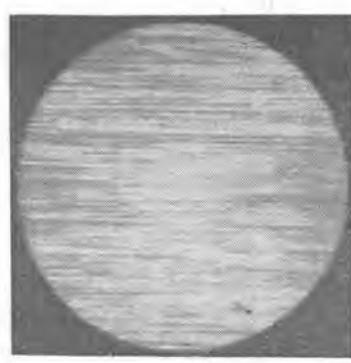
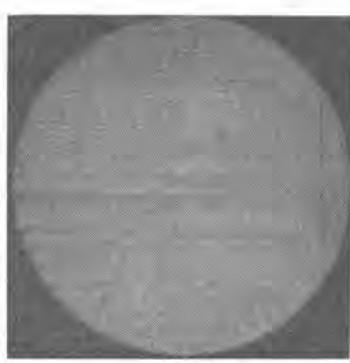
刷子の製造の上から来る加壓面に對し三つの切り出しが考えられるが、その切り方と整流子の回轉方向との關係を「切り方」〔I〕〔II〕〔III〕の三つに區別して呼稱する事にする。〔I〕の切り方が從來慣用されている方法である。3圖に切り方と整流子との關係を示した。



4圖 1.5KW 充電發電機 よる EG-41 の磨耗

3 表 EG-41 刷子の走行距離と磨耗

運転時間	刷子温度 (°C)				刷子磨耗 (mm)				軸承温度 (°C)	織鐵温度 (°C)	湿度 (%)	室温 (°C)	整流状況 整流子状況
	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	0	23	75	78	21	#2~#4 極小點狀火花
10	144	133	162	173	0.011	0.020	0.017	0.008	71	74	80	22	No. 2 刷子火花ヤヤ大
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	滑動面良好
40	136	140	117	136	0.059	0.076	0.071	0.076	74	76	63	21	No. 4 刷子=間歇的 稍大ナル火花
50	134	113	124	123	0.077	0.098	0.094	0.096	74	73	60	22	微細火花整流子面次第 ニ暗紫色ニナル
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	整流子面薄ク黒鉛ニテ 覆ワレル
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	—
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	間歇的=無火花状態ア リ
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 mm/1000km					0.011	0.046	0.051	0.045	約	—	—	—	コツバーピツク、チャ ッター等ナシ、整流子 面ハウスイ黒鉛粉附着
總平均					0.043		0.048		(60~ 79)	(75)	(50~ 80)	(21~ 24)	約 0.045

運転 200hr 8000km 後の
刷子面運転前整流子面
(Grainger面)運転 200hr 8000km 後の
整流子面

5 圖

III. 大気中の磨耗

II, IV, V では各種の機会に行つた磨耗その他の実験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. 大気中の實驗とその結果

ア. 大気中の磨耗

EG-41 切り方〔1〕の刷子を用いて、1.5KW 充電發電機で 200 時間走行距離 8,000 粕の運轉を行つた結果は、大気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 粕當り 0.045 粕程度である。

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 圖はこの状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 (No. 2~No. 4) 程度で、まれに 1 粕位の有足火花または 20 分程度の無火花の状態

4 表 大 気 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 大體 #2~#4	#4~#5	#4~#6 —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	
刷子子No.	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	—	1 2 3 4	
極性	(+)(-)	(+)(-)	(+)(-)	—	(+)(-)	
刷子壓始 g/1.12 cm ²	680 740 600 720	680~710	750 740 630 640	750 710 750 760	6.0 610 730 700	
終	680 740 600 720	650~700	—	—	—	
時間(hr)	hr 10 15 20 25 30 40 45 60 200	0.011 0.020 0.017 0.008 — 0.05 0.036 0.028 0.018 — — 0.105 0.050 0.104 0.104 — — 0.364 0.405 0.396 0.394	— — — — — — — — — —	— 0.071 0.066 0.111 0.894 (16.7hr) — — — — — —	0.062 0.078 0.073 0.082 — — — — — — — — —	— 0.802 1.08 1.00 1.01 — — — — — — — —
磨耗量(mm)	40 45 60 200	0.043 0.057 0.059 0.056 — — 0.364 0.405 0.396 0.394	— — — — — — — —	— — — — — — — —	— — — — — — — —	
平均磨耗量 1/1000 mm	各平均 各極平均 總平均	0.041 0.046 0.051 0.045 0.043 0.018 0.005	0.078 0.038 0.078 0.078 — 0.078 0.070 (0.04~0.08)	0.086 0.080 0.14 0.099 0.083 0.12 0.10	0.095 0.120 0.113 0.126 0.11 0.12 0.12	1.23 1.67 1.54 1.56 1.45 1.55 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	大體#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 ペアリング磨損	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 0.653 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	0.133 0.330 0.125 0.378	— 0.062 0.073	0.13 0.075 0.13 0.074	1.8 0.83 1.65 1.08	0.083 0.066 0.086 0.081	0.228 0.172 0.246 0.212
0.16 0.17	0.13~0.55	— 0.067	0.10 0.10	1.3 1.2	0.075 0.083	0.20 0.23
0.17	0.24	— 0.7 (0.03) 20時間以後	0.10 (0.075~0.13)	1.2	0.08	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、コツバーピツクチャッター等は皆無であった。整流子面は2,000杆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、実験中の温度はほぼ70~80%、刷子圧は1,500杆程度走行後は變化がなかつた。これ等の状況を一覧表にしたもののが3表であり、5図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気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分運転40分冷却を50回繰返し、整流子が運転中に遠心力のため、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ゐる。また運転中にペアリングが磨滅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杆當りの磨耗量は約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実験における事實のみ拾うと、大気中の磨耗は非常に廣範囲で種々の条件に左右されるが、運転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、例えばペ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図は磨耗量の分布と走行距離の関係を示したものである。

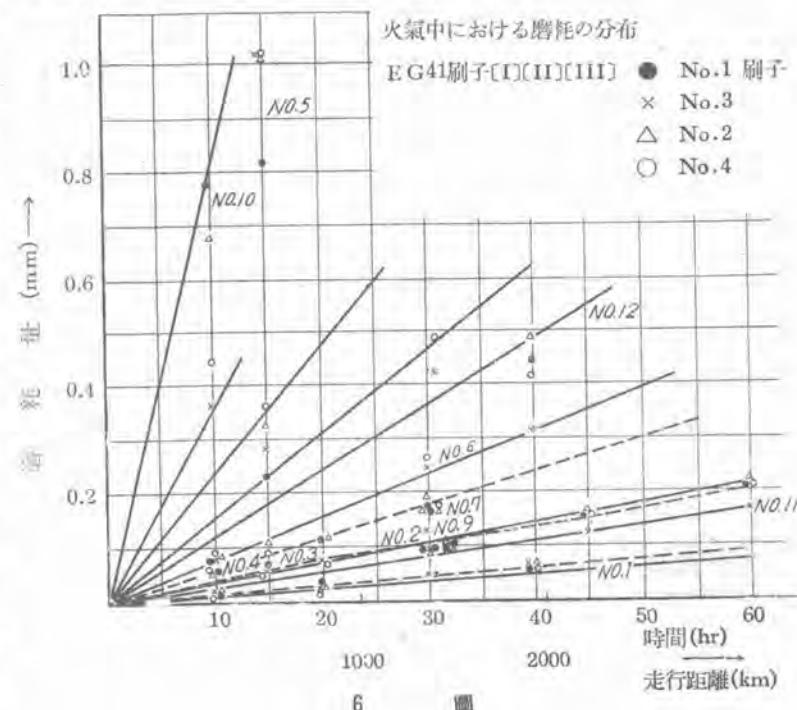
イ. 負荷電流の差異による磨耗

2表の発電機で切り方(I)のEG41刷子を用いて、運転時間約30時間負荷電流を0, 10, 20, 30, 40, 56A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、30Aで整流番号#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のが5表である。

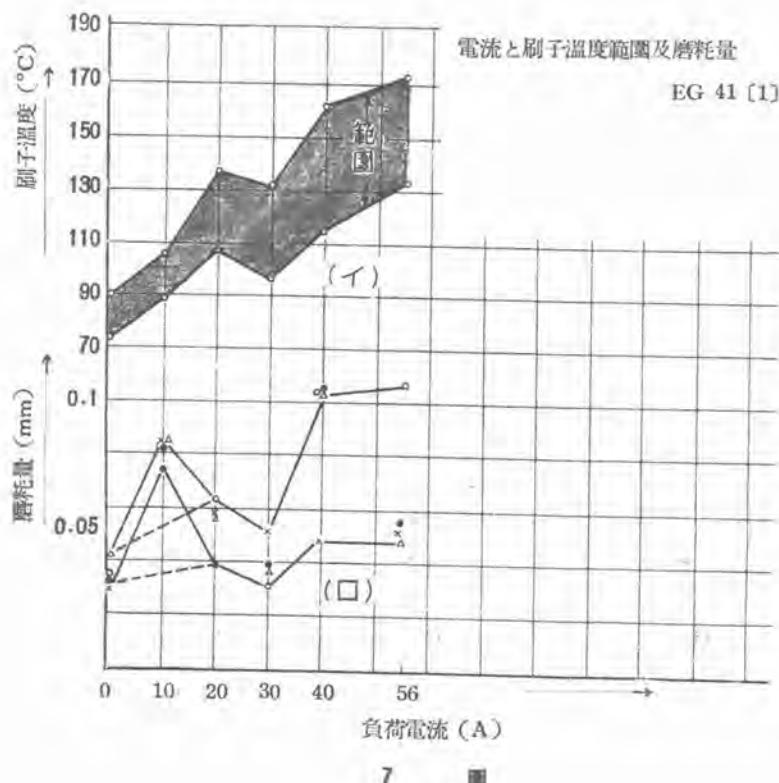
以上の結果をグラフに示したもののが7図(イ)(ロ)である。これによると負荷電流10A、電流密度4.5A/cm²のとき極大點があるが、磨擦係数の整流子温度による變態點に近い處であり、一概に実験の誤りとも考えられない。しかし磨擦係数を直接磨耗に關係づけることはできないが、文献にはこの點で磨耗量が増大することを示している。ここでは後述の如く論點外であるので、一應省いておけば磨耗は電流とともにやや増大の傾向にあると考えられ、またその分散も電流に伴つて廣がつてあり、刷子温度も同傾向にある。また無電流の場合が文献に示される程磨耗が少なくなつてはいない。

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)	刷子圧 (gr/cm ²)	30 hr の 磨耗寸法 (mm)				平均磨耗量 mm/ 1000Km	整流	実験条件
				No.1刷子	No.2刷子	No.3刷子	No.4刷子			
0	0	89~75	680~710	0.033	0.027	0.043	0.034	0.026	6.1	# 1 偏心 mm 18/1000
10	4.5	89~105	690~760	0.081	0.085	0.084	0.074	0.062	8.61	回轉數 4500:pm (23hr = 1000km)
20		108~138	660~700	0.038	0.058	0.057	0.063	0.041	6.8	偏心 mm 18/1000
30	13.5	98~131	646~710	0.016	0.052	0.035	0.029	0.029	9.1	# 2~# 4 回轉數 4500:pm (23hr = 1000km)
40		115~163	650~750	0.105	0.050	0.105	0.104	0.070	6.56	# 4~# 6 偏心 mm 18/1000
56	25	132~171	650~700	0.015	0.058	0.108	0.050	0.051	8.45	# 4~# 6 偏心 mm 18/1000



7 圖

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
	(+)	(-)	(+)	(-)	
刷子圧 g/cm ²	490 380	500 440	490 350	480 370	
運轉時間 35~40h	0.013	0.012	0.024	0.019	# 1
運轉時間 48~40h	0.029	0.02	0.034	0.029	~#3
運轉時間 63~23h	0.041	0.032	0.046	0.043	〃
と磨耗寸法 と磨耗寸法 (mm)	0 100 120 140 158 176	0 0.069 0.091 0.104 0.124 0.149	0 0.059 0.085 0.108 0.126 0.224	0 0.068 0.079 0.105 0.121 0.154	0.019 1.29cm ² ×20 41.5mm 3500 rpm 7.55km 25 A 10A/cm ² 75°C 65~70°C 10時間単位 115~140°C 0.020mm 2720km/100hr
初期平均磨耗量 mm/1000km					No 4 (-) No 3 (+) No 2 (-) No 1 (+)

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 充電発電機を用い、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 杠に及び、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 時間単位の継続運転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のが 6 表である。

磨耗量の走行距離に対する傾向はやや増大気味であり、また磨耗量は 1000 杠當り 0.025 精程度である。この點 EG 41 と異なるが、その後の実験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悪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、その他を調査した実験の一部で刷子の種類による滑動面の縹刻度を比較したものである。

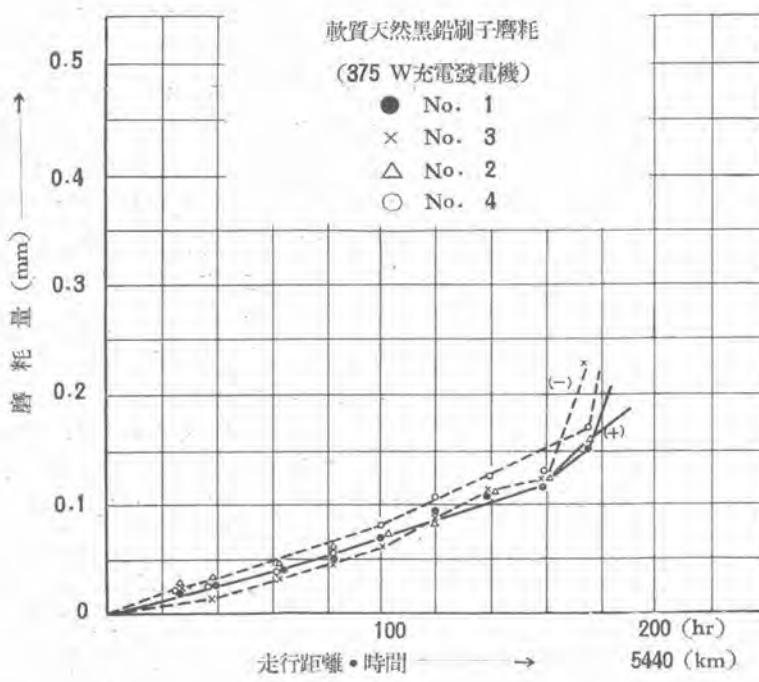
縹刻度の比較を定量的に行うのは、實際の整流子では適當な測定器を得る事ができず、他の実験では凡て省略したが、この場合は聚電環が非常に小さくて測定に手頃であつたので材質が他と異なつてゐるに拘らずこゝに附加したものである。聚電環が高壓磁石発電機に用うるもので真鍮を硬質ゴムに埋込んだものである。実験装置は聚電環、刷子保持器ともに實用そのままを用いたもので、回轉數は 400r.p.m で行つた。この回轉數を低くしたのは刷子保持器の構造上、片當りになるのを恐れたからである。實験に用いた刷子は MG 9 RB, R 140, EG 9, SA 45 等である。結果の概要を示すと 7 表の如くである。

運轉は 6.50 時間で走行距離にして 1,500 杠程度である。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 精にも達するがその他の部分はほゞ一樣な荒くない傷が分布している。

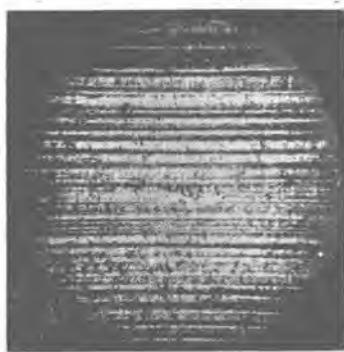
MG 9 RB は特に大きな傷はないが相當に荒いものが一様に分布しており、深さは最大 0.007~0.01 精程度である。

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 精程度 SA 45 は 2ヶ所の大きな傷を除いて細かい傷が一様に分布し、0.004~0.008 精程度の深さである。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 が縹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様でない事



8 圖



10,000km 走行後 No. 4 刷子



10,000km 走行後の面



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	実験条件
MG 9R B	Cu50% 硬度 〃	大 大	大 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 刷子圧 250=10g/cm ² 運転時間 700 hr 回轉数 400 rpm 走行距離 1500 km 聚電環直徑 32.1 mm 質輪部圓周長 42.5 mm 硬質ゴム長 58.0 mm 無電流
R - 140	炭素質 (45) (硬質部有)	小	小	比較的小	特に大なる傷を発生する所あり	
EG - 9	電気黒鉛質(30) 〃	中 中	小 小	小 小	特に大なる傷を発生しないが、細かい傷が一面に出る	
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	

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縫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。また実験は真鍮硬質ゴムに對して行つたもので、硬質ゴムの方が餘計に縫刻されている事を知る事ができる。銅では更に大

きな縫刻を示すと考えられるが、以上の実験で一應の推察が得られるであろう。

2. 強制振動下における磨耗

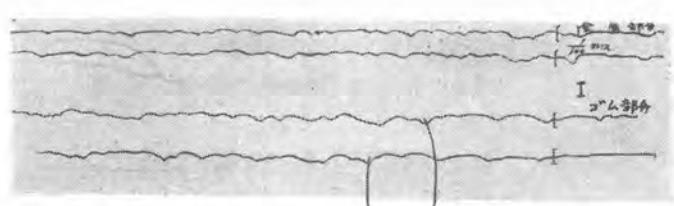
強制振動下で磨耗実験を行つたのは、前後三回に過ぎず、何れも不完全な断片的なものであつたが、大氣中の磨耗の分布原因の一つの説明ともなり得るので、簡単に述べる事にする。

ア. ヨーマ振動臺上の実験

各種の刷子の代表である EG 41, MG 9 RB, サカエ 11 R, 切り方 [I] を用いて、ヨーマ振動臺に 0.5 HP 鋼架電動機を組合せて行つたもので、おののに對する実験條件は 8 表の如くである。

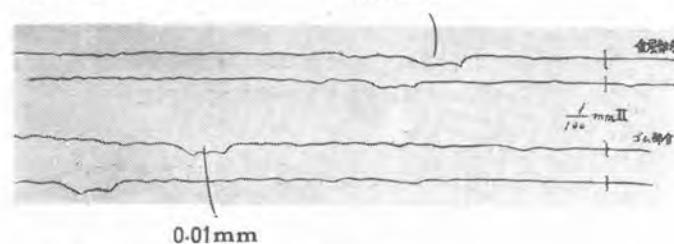
振動數 10^{cpm}, 全振巾 8~7 精度はエンジンの振動の一例である 40^{cpm}, 全振巾 0.5 精度が装置の都合得られなかつたために、最大速度のみを等價にしたものである。

MG-9 RB



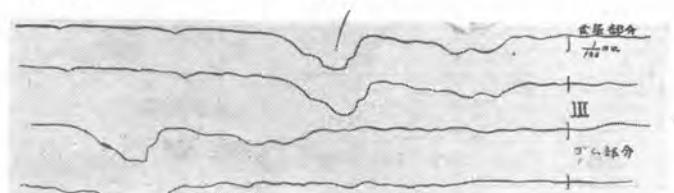
MG-9 RB

0.009mm



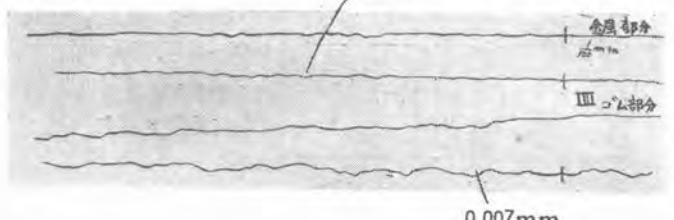
R 140

0.026mm

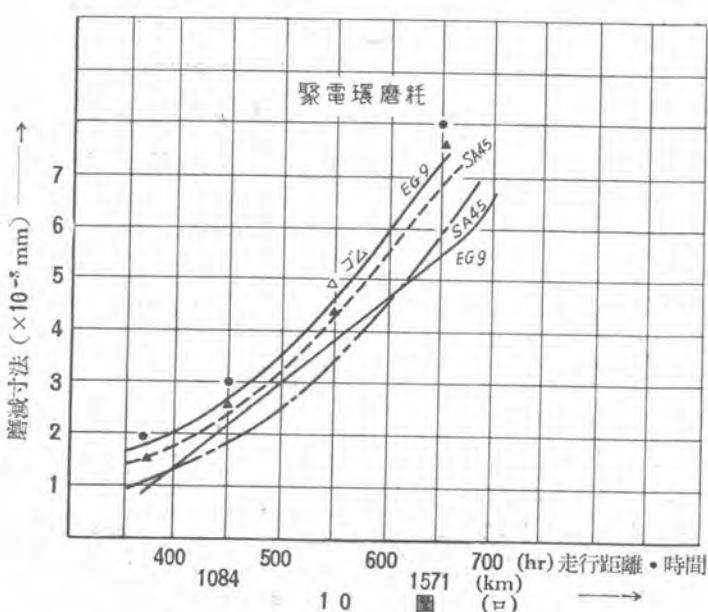


EG-9

0.004mm

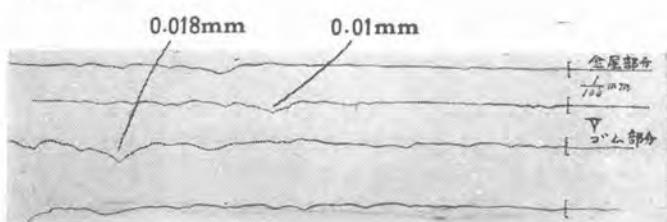


10 圖(イ) 聚電環の傷 (1,500km 走行後)

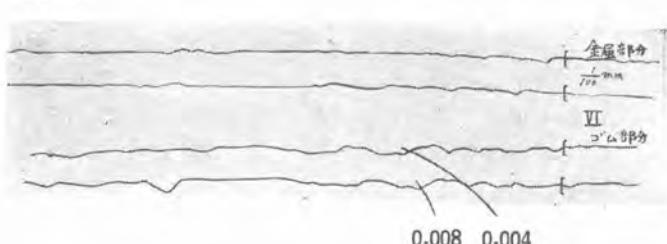


電気用刷子の磨耗 (1) 森田・前田

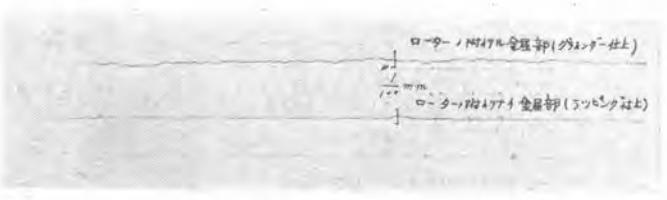
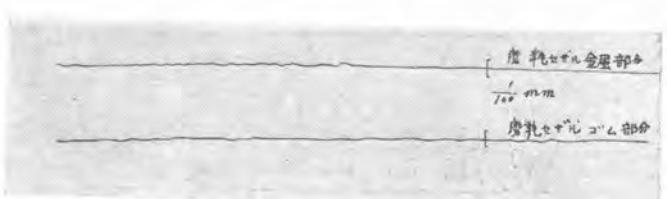
EG-9



SA-45



0.008 0.004



ローラー付タイヤル金属部(グリーン仕上)

磨耗セゼン金属部

磨耗セゼンゴム部

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, が大氣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が、この実験では相當の開きを生じておる、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 のみ陰極刷子が大になつてゐる外、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、かゝる振動の影響は、刷子の磨擦係数に變化を生

8表 振動試験条件

刷子種類	EG 41	MG 9 RB	サカエ11	備考
整流子直徑 (mm)	47	〃		刷子數 4ヶ 約 4.2 m/sec
回轉數 (rpm)	2600~3100	〃		
刷子寸法 (mm)	19 × 7	〃		
刷子壓力 (g/cm²)	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/cm²)	10.2~8.6	11~7.8	11~2.5	
振動数 (Hz)	9~10	〃	〃	電動機主軸方向
全振巾 (mm)	7~8	〃	〃	
整流子偏 (-10³mm)	8.5	〃	〃	
心継鐵溫度 (°C)	15~54	8~55	16~73	
室温 (°C)	13~18	8~13	9~19	
湿度 (%)	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淨にして更に 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 図に示した通りである。

以上の実験条件は、おのおのの場合に負荷時間、油の浸入程度等に差異があり、一つの実験結果として見ることは妥當でなく、4 回別々の実験として 12 表の如く纏めて見たところ、既述の大気中の磨耗実験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 杆當り 0.05 磨程

9表 振動による磨耗

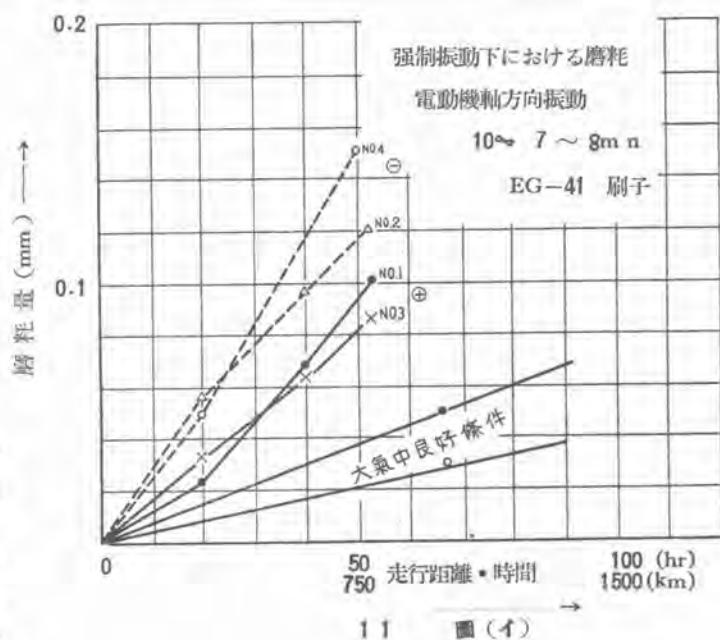
刷子種類	EG - 41				MG 9 RB				サカエ11				備考
刷子壓 No. (g/cm²)	1 (+) 440	2 (-) 410	3 (+) 420	4 (-) 410	1 (+)	2 (-)	3 (+)	4 (-)	1 (+) 340	2 (-) 350	3 (+) 300	4 (-) 310	大気中無振動状態 の磨耗一例
時間 (hr)	20	0.024	0.056	0.032	0.050	0.10	0.050	0.040	0.11	0.036	0.040	0.032	0.030
と	40	0.068	0.096	0.064	—	—	—	—	—	0.064	0.072	0.062	0.054
磨耗 (mm) 寸法	50	0.10	0.12	0.087	0.15	0.24	0.14	0.10	0.26	—	—	—	—
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.094	0.084	0.076	0.11
80	—	—	—	—	0.37	0.20	0.20	0.40	—	—	—	—	
平均磨耗量 (mm/1000km)	(+)	0.12	(-)	0.17	(+)	0.37	(-)	0.40	(+)	(-)	0.12	上記は良好な状態に おける磨耗を示す	
0.14					0.3								
刷子缺損側面 磨耗の影響	缺損ナシ 側面光澤ヲ帶ビル			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			〃									

せしめ刷子函内での衝撃となるためであろう。

1. エンジンに発電機を直結した場合の磨耗

3KW 充電発電機に EG 41 切り方 [I] の刷子を用いて、18 気筒エンジンに着装した場合の磨耗について述べる。実験条件は 10 表の如くであるが、エンジンが発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数値をもつて代表せしめる事にする。実験はエンジンの耐久運転に便乗したため一貫した方法はとれず、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 時間目點検のとき、整流子ライザー側の刷子に油を吸收した形跡が認められ、次の 48 時間の點検では何れの側の刷子も油を吸收しており、51 時間目では更に著しく油を吸收した。第 3 回の実験終了時における點検では、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、溝には磨減粉の橋絡をしてい

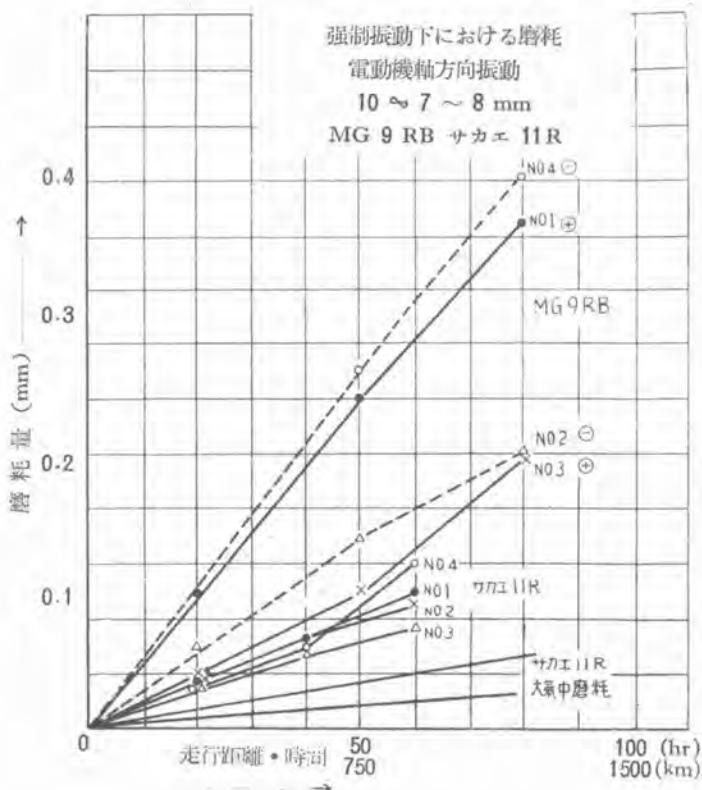


10 表 エンジン着装試験

項目	エンジン	項目	330型発電機	備考
型名	八42.31型	取付	水平取付(八211)	発電機はフレキシブル軸にてエンジンと直結
2	八42.21型	整流子徑	垂直取付(八42) 65 mm	振動は刷子の處では測定不能
3	八42.31型	回轉數	5300 ~ 6300 rpm	
4	八211 53hr	周速	約180/sec	
H P	2200 (八42)	負荷	0 ~ 100 A	
回轉數	2250 ~ 2500 (八42)	刷子寸法、箇數	8×16×25mm×8	
	2500 ~ 2800 (八211)	通風	20 ~ 30	
運轉時間	合計 104 時間			
振動状態	測定値ナシ	振動	上下 ±0.11 0.09 高さにて不規 0.22 0.17	
			左右 ±0.09 143 ~	
			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	0.084	0.038	0.038	刷子墨
	ii	47	13	34	6700	0.10	0.124	0.072	0.067	750 g
	iii	51	13	38	7300	0.177	0.148	0.122	0.077	刷子寸法
ライザー側	i	17	5.5	11.5	2450	0.078	0.087	0.072	0.059	8×16×25×8ヶ
	ii	47	13	34	6700	0.108	0.137	0.109	0.110	偏心 0.019
	iii	51	13	38	7300	0.148	0.148	0.133	0.120	刷子温度
イ軸受	VI	104	22	82	14600	0.289	0.222	0.244	0.232	織織温度
ザ受						0.277	0.201	0.237	0.269	約 50°C



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

(2) 油の浸入量が大となると無負荷の場合でも 3~5 倍に増大する。

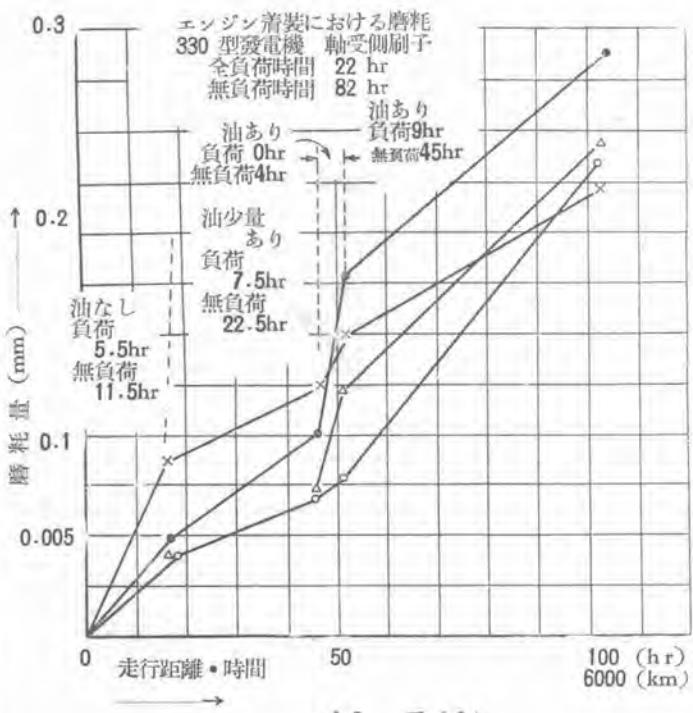
(3) エンジン振動による影響は明らかでないが、大氣中無負荷の磨耗が 1,000 精當り 0.03 精程であるに比し 0.05 精程度であること、油の量がやや大となつた場合、磨耗量が急昇する事、等が挙げられる。

以上の実験は何れにしても短時間の結果であり、環境も実験條件も共に不備であつたため、充分の検討はできなかつたが、かかるエンジン振動下における磨耗は期待する程大でないようと思われる。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、発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。

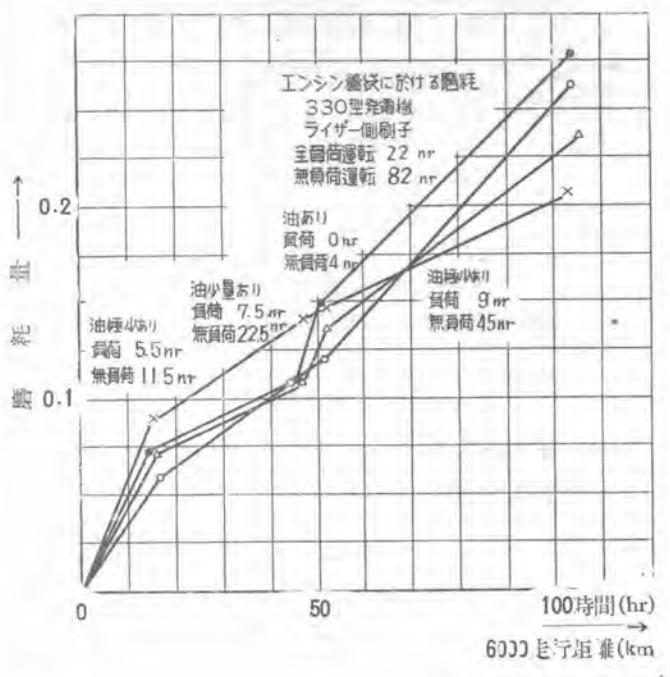
ウ. 偏心整流子による磨耗と缺損

整流子に甚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、実験條件とともに示すと 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 図(イ)



12 表 11 表の結果

実験 No.	條件	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 0.078	0.084 0.087	0.038 0.072	0.038 0.059	0.050 0.070
2	軸承 ライザー	油 油 少 垂直取付	7.5	22.5	1800 (30)	0.052 0.030	0.040 0.050	0.034 0.037	0.029 0.051	0.022 0.014
3	軸承 ライザー	油やや大 垂直取付	0	4	240 (4)	0.077 0.040	0.024 0.011	0.030 0.024	0.010 0.010	0.16 0.09
4	軸承 ライザー	油極少 水平取付	9	45	3250 (54)	0.11 0.13	0.074 0.053	0.12 0.11	0.13 0.15	0.031 0.031

13表 偏心による磨耗

刷子 No.	1	2	3	4	實驗條件
極名	(+)	(-)	(+)	(-)	機體 慣性始動機
刷子壓 (gr)	1000	1100	1200	1060	整流子直徑 39 mm
磨耗量 (mm)	0.65 0.51 0.89	1.45 0.85 0.85	3.44 0.99 1.06	2.17 0.95 1.02	偏心 0.2 mm
磨耗量 (mm/1000km) 平均	0.1~0.18	0.3~0.18	0.7~0.2	0.45~0.2	回轉數×運轉時間 約 7000rpm × 100hr
側面磨耗	最大	0.06 mm			電壓 4 V
					電流 50 A
					刷子電流密度 50A / 1.27 × 0.6cm² × 2ヶ
					刷子振動數 42 × 106回



13 図 切り方と缺損

運轉時間 100 hr
回転数 12,000 r.p.m.
電流 100A/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、刷子の端部で段付となつてある事である。

次に実験方法そのままで電気黒鉛系刷子の切り方を異にしたものを実験したところ、13図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缺損を示さないが、かゝる偏心による運動では加圧層に沿うて、剥離する如き缺損を生じている。かゝる衝撃に對しては切り方〔Ⅲ〕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表の発電機に EG 41 切り方〔Ⅲ〕の刷子を用いて行つた実験で、前述以外の條件は 14 表の如くである。

先ず混合せ運動 30 時間後、比較のため大氣中における磨耗実験を 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実験を行つた。

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% が発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 図に示しておく。

1. 大氣中の磨耗

大氣中の整流状況その他は、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 車當り 0.08 磨程度であつた。

2. 水霧中の整流及整流子面

大氣中と同様な極微細點状、火花の状態 (#2～#4) が 7 時間位まで繼續し、その後次第に悪化 (#5) し、20 時間前後に最も悪く (#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 實験條件及磨耗量

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	15		0.109	0.184	0.111	0.207	0.23	偏心 14/100mm 回轉數 4500 rpm 刷子溫度 120～160°C 平均刷子溫度 140°C 軸承溫度 50～66°C
	30		0.347	0.491	0.467	0.588	—	R.T. 15～23°C R.H. 64～84%
	45		0.525	0.612	0.907	0.944	0.50	15 時間繼續 9 時間休止
	平均 mm/1000Km		0.31	0.31	0.46	0.54	0.41	
	中	刷子壓 g 始終	760	660	650	670	—	
大 氣	15		0.055	0.043	0.057	0.052	—	偏心 14/1000mm 回轉數 4500 rpm 刷子溫度 100～140°C 平均刷子溫度 120°C 軸承溫度 66～80°C
	30		0.112	0.091	0.115	0.106	—	R.T. 14～22°C R.H. 46～67%
	45		0.159	0.131	0.170	0.157	—	15 時間繼續 9 時間休止
	60		0.215	0.172	0.224	0.213	0.08	
	平均 mm/1000Km		—	—	—	—		
中	刷子壓 g 始終		760	660	650	670	—	
	720		550	650	650	610	—	

まで持続した。

途中何等かの原因で霧が中止されると、これ等の點状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発生を見た。

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

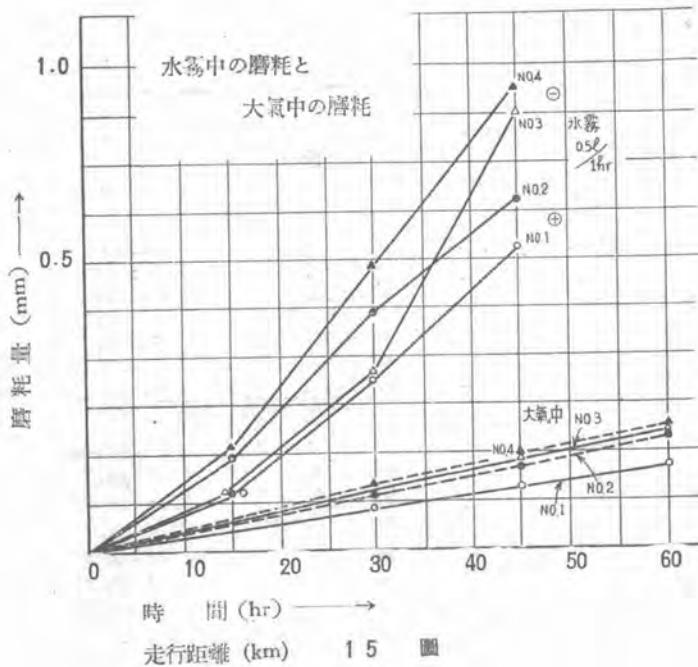
整流子面は運転 1.5 時間後には既に薄黒色となり、磨減粉が附着しているのが見られ、運転終了時には整流子面に固着していた。

3. 水霧中の磨耗

刷子の温度は大気中より約平均 40°C 位高めであつ



14 圖 噴 霧 狀 況



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、大気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 斤當り 0.24 斤、最後のそれは 1,000 斤當り 0.50 斤で 2 倍となつてゐる。全體の平均 1,000 斤當り 0.41 を大気中に比較すると約 5 倍であり、時間とともに更に増大する事にならう。

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、運転時間とともに擴大される傾向にある。

磨減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抗を來したが低電圧のため運転には支障はなかつた。刷子粘除去乾燥後は十分回復した。

文 献

- (1) 日本學振 電氣用刷子の研究 [I, II]
- (2) T. Neukrichen "Kohlebürsten" 譯文
- (3) 高橋、武政 潤滑油による整流子異常磨耗 (日立評論 1948.5)
- (4) C. Lynn, H.M. Elscy, Effect of Commutator Surface Film Condition on Commutation (AIEE, 1948.11)
- (5) 桑田勉 溶剤
山口文夫 潤滑剤
日本學振 金属の磨耗

ロートトロールの性能と應用

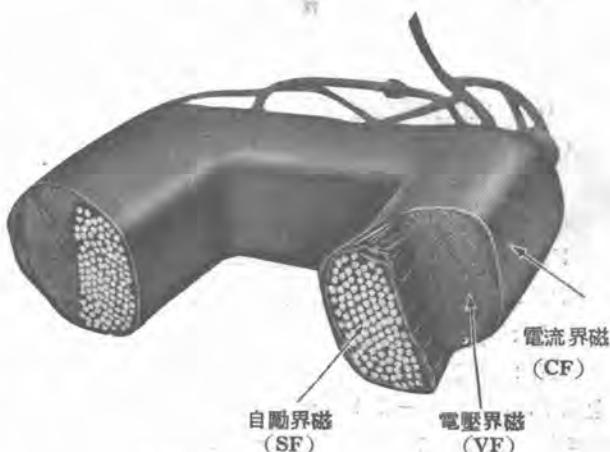
ロートトロールによる速度制御電圧調整方式についてロートトロールの性能を理論的に解析し、直流発電機の自動電圧調整、直流電動機の速度制御試験を行つてその性能の優秀なる事が實証された。次に電力方面及工業方面において廣範囲にわたり使用されるロートトロールの應用について數種の例をあげて説明を加えた。

片竹 岡内 高眞示一
神戸製作所

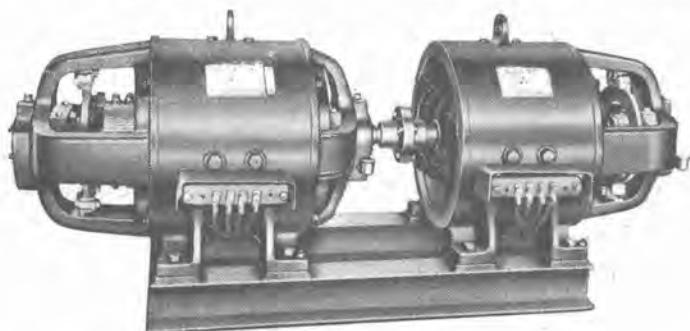
1. 緒 言

Rototrol は Rotating and Control を略した名稱であつて今より約 10 数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堅坑巻上用直流電動機（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圧調整に、また工業方面には巻上機用、製鐵ミル用、製紙機用等の直流電動機の速度制御、同期電動機の力率調整等各方面に廣範囲に應用されていて、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驅逐している状態である。

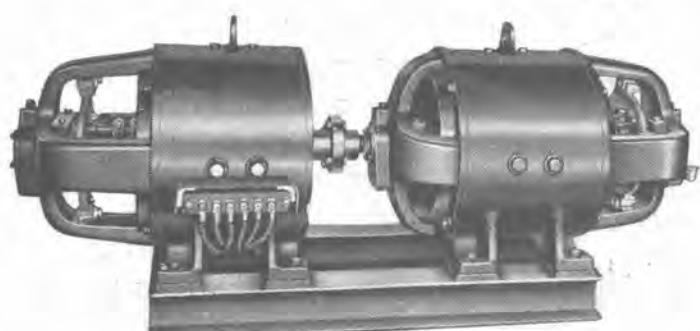


3 図 ロートトロール主極コイル



1 図 0.5 KW ロートトロール外観

右: 0.5 KW ロートトロール 左: 1 HP 駆動用直流電動機



2 図 同 上

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、用途に應じて種々に接続せられる 3 種類の界磁コイルをもつてゐるのが特色である。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繼鐵を珪素鋼板の成層構造にしなければならない。

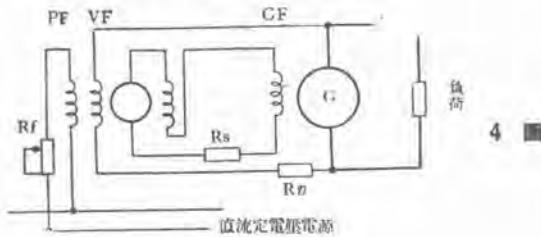
3 圖は主極コイルの切斷面を表している。次に述べる 3 つのコイル SF, VF, CF がそれぞれ断面に表れている。

ロートトロールは主發電機の駆動機に直結し發電機と

同時に駆動しても差支えないが、主發電機駆動電動機の速度変化には關係なく一定回転を保つ事が必要であり、また發電機の回転數よりも高回轉にて駆動すれば機械を小型にする事ができるので、普通主發電機とは別個の誘導電動機があるいは交流電源の變動の激しい所では定電圧直流電源——普通定電圧動磁電源を使用する——を電源とする直流電動機によつて駆動する。

3. 性能の理論的解析

直流發電機の自動電圧調整の目的に使用する最も簡単な接続は4圖である。本接続についてロートトロールの基本的性能を解析しよう。圖において



4 圖

- G : 直流發電機電機子
- GF : 同 界磁
- R : ロートトロール電機子
- SF : 同 自動界磁
- VF : 同 電壓界磁
- PF : 同 規準界磁
- R_s : 同調抵抗
- R_f : 界磁調整器

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發電機の一型である。またSFとPFは互に和値にVFは差動に作用する。ロートトロールは使用範囲の電圧では飽和せず發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と、その接続において

$$I - \frac{N_s K_r}{R_1} = 0 \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

なる式が成立する様な條件にあるときは、直流發電機の電圧は次式で表される、

$$E_g = \frac{N_p}{N_v} r_v i_p \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

こゝに

- E_g : 直流發電機電圧
- K_r : ロートトロール電圧係数
- R_1 : 同調回路の抵抗
- r_v : VF 界磁の抵抗
- N_p, N_s, N_v : PF, SF, VF 界磁の巻數
- i_p : 規準界磁電流

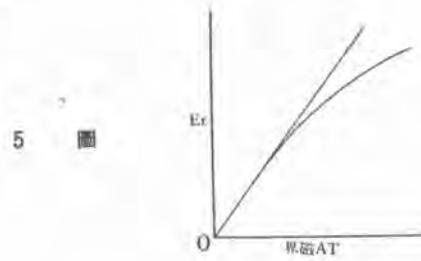
である。

式(2)より明らかな様に直流發電機の電圧は i_p に比例する。すなわち E_g はその飽和曲線に關係なく R_f の調整によつて直線的に變化し、 R_f を一定に保つときは

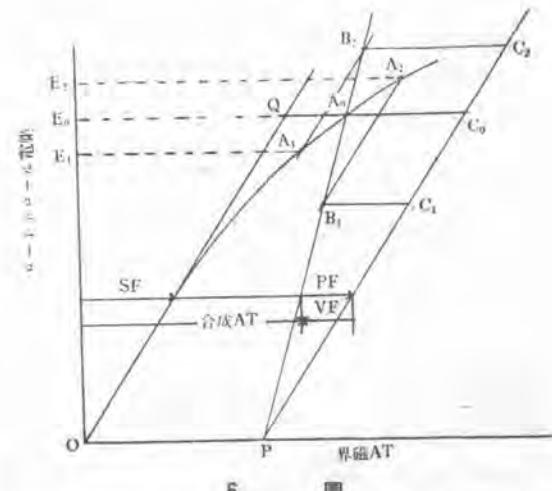
發電機の回轉數及負荷電流に無關係にその電圧を一定に保つ。すなわち負荷電流の變化に關係なく端子電圧は自動的に一定値を維持する。

次に式(1)の表す條件を吟味してみると、これは $R \rightarrow SF \rightarrow GF \rightarrow R_1$ 回路の同調の條件である。すなわち 5 圖に示す様にロートトロールの飽和曲線の直線部がこの同調回路の抵抗直線と一致している事を表している。

この様な直巻發電機を同調状態で使用する事がロートトロールの特色である。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實際に使用の際は同調を少し外して、靜的増率を犠牲にして安定な状態で使用している。



5 圖



6 圖

以上の算式による解析に對して、これを圖によつて説明すると、6 圖において

$O A_1 A_0 A_2$: ロートトロールの飽和曲線

$O Q$: 同調回路抵抗直線

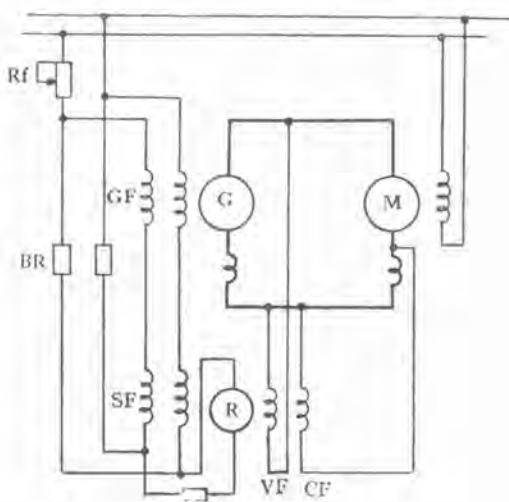
PF によつて OP なる一定勵磁を與えてロートトロールは E_0 、直流發電機は E_g なる電圧を發生しているとする。このときは、

$E_0 Q$: SF の與える AT

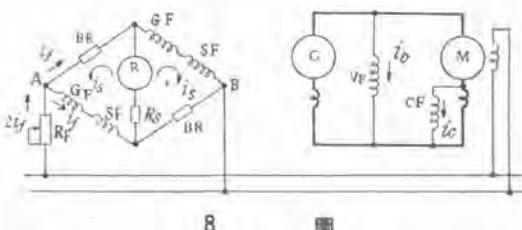
$\overline{QC_0} = \overline{OP}$: PF の與える AT

$C_0 A_0$: VF の與える AT

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 $\overline{C_1 B_2}$ 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圧は飽和曲線上 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圧を下す。次に逆に發電機電圧が $\overline{C_1 B_1}$ に相當するまで下ると、ロートトロールの電圧は A_2 に相當する E_2 に上昇して従つて發電機の電圧を上げる作用をする。斯の如くにし



7



8

ロートトロールは発電機の自動電圧調整を行う。

4. レオナード制御直流電動機の自動速度調整

卷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壓による直流電動機の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發電機回路とロートトロールのプリツジ回路に分けて画くと8圖の様になる。

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 は一臺の全世界磁を 2 回路に分けてプリッジに接続する。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 の兩方の作用をし、 VF は 4 圖の VF と同じで、本圖では新たに CF が設けてある。プリッジ回路で GF と SF の抵抗の和と BR の抵抗を等しくしておくとこれは平衡プリッジ回路を形成する故に、定電壓勵磁電源より 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 はロートトロールの電壓 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 によつてプリッジの各分路に流れる循環電流 i_r は i_f に無関係である故に i_r 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壓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トロールによって直接励磁される故にロートトロールは発電機の励磁容量に等しい出力を

必要とするが、8図では発電機の励磁の大部分は定電圧電源よりの励磁(シーケンスによる励磁)によつて行われロートトロールは不平衡を調整するだけの励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、プリツジ回路 $-R-GF-SF-BR-R_s-R-$ に同調の條件の成立する時は、

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

あるいは

上卷

E_m : 主電動機誘起電壓

E_a : 主發電機誘起電壓

5. 定電圧電源による勵磁電流

I: 主回路電流 (負荷電流)

r_b : VF 界磁の抵抗

r_{on} : 主發電機電機子回路抵抗

r_{am} , r_{cm} : 主電動機電機子, 神極コイル抵抗

N_x , N_y , SE , VF ヨイル毎極素数

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_1 に比例する、すなわち R_1 の調整によつて i_1 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_2 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変動率を完全に補償する事が本装置の特色であつて、従来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変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。

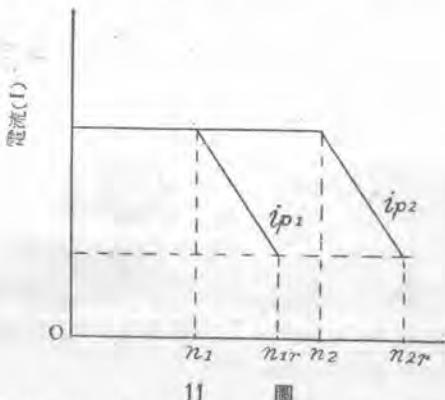
特に低速度（発電機低電圧）においては負荷による電圧降下の誘起電圧に對する割合が大きい故に負荷がかかるれば電圧が從つて電動機速度が非常に低下する事になるが、本装置によるときは式(4)に示す様に電動機の速度は主電流に關係なく η のみによつてきまる。すなわち負荷の大小に無關係に R_f のノッチの位置に相當した速度が何時もえられ運轉が確實になる。従来のレオナード方式では速度制御の範囲は大體 $1/40$ であるに對して本装置では $1/120$ の廣範囲まで安定な制御が可能である。

従来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残留磁機による電圧のために回路電流が流れで電動機は停止しない。このとき機械的ブレ

が成立する。こゝに

A , B 各界磁の常数によつてきまる常数
 a 最大許容電流 I_1 によつてきまる常数
 (CLR の特性の A 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 に無関係である。換言すれば i_p を如何に変化させても 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。



i_p 一定の場合、速度 (n) と電流 (I) の関係

(2) CLR が A_1 以下で作用する場合.

241

i_p : 規準界磁電流

E_m : 電動機誘起電壓

C, D, F, G: おののおの當數

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

・1), (2) を総合して考えると 11 図において、電動機停止より起動する場合を考えると、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 は屈曲點以上の電圧を発生し負荷電流を 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 の電圧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 にて定常回転を続ける。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_{p2} に相等する速度 n_{r2} に到つて定常速轉となる。

CLR に PF と VF を持つている理由。

CLR の PF と VF を置けば式(5)は次の形になる

となる。

ここで H, J, K はそれぞれ常数である.

すなわち I を決定する式に i_p , E_n の項が入つて来る。(5) 式には i_p , E_m は含んでいなかつた。 I を決定す

日立トヨタ自動車の性能と應用・片岡・佐久

る式に i_p , E_m を含む事は I の制限す可き最大値が i_p あるいは E_m によっ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。

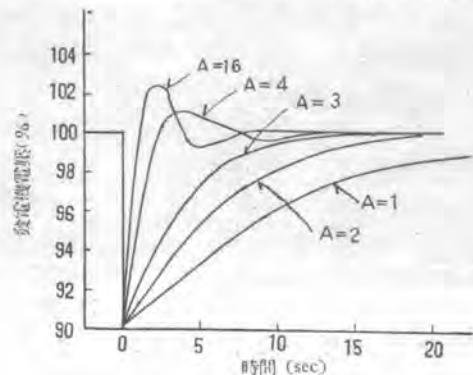
CLR に PF, VF を設けなければ最大制限電流は i_p によつて多少變化はするが過電流を防ぐ目的は達せられるから、逆轉サイクルの速いミル用直流電動機には構造を簡単にするためにこれ等の界磁は省略してある。25 圖参照

6. 增巾率

ロートトロールの調整能力は次の2つの因子に關係する。

1. 靜的增巾率 (Static Amprification)
 2. 動的增巾率 (Dynamic Amprification)

静的増巾率は調整の感度と精度を決定する。電圧を基準とした静的増巾率とは規準界磁に1ボルトの変化を与えたときの発電機電圧(E_g)の変化を云う。例えば増巾率10とはロートトロールの規準界磁に1ボルトの変化を与えたとき発電機電圧が10ボルト変化する事である。



12 圖 電壓回復曲線

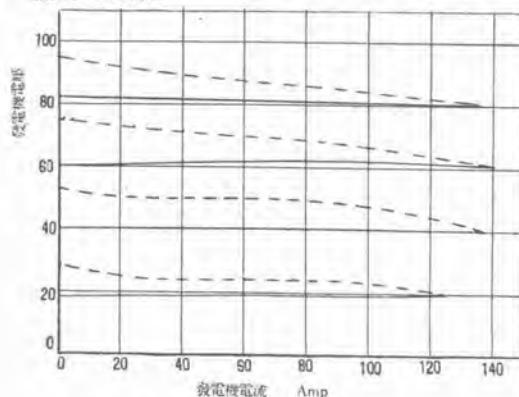
従つて式(1)の様に同調しているときには増巾率は理論的には無限大となる。何故なれば同調しているときは規準界磁に極小の励磁を與えてもロートトロール電圧は或る値まで発生するからである。

動的増巾率とは自励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変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。

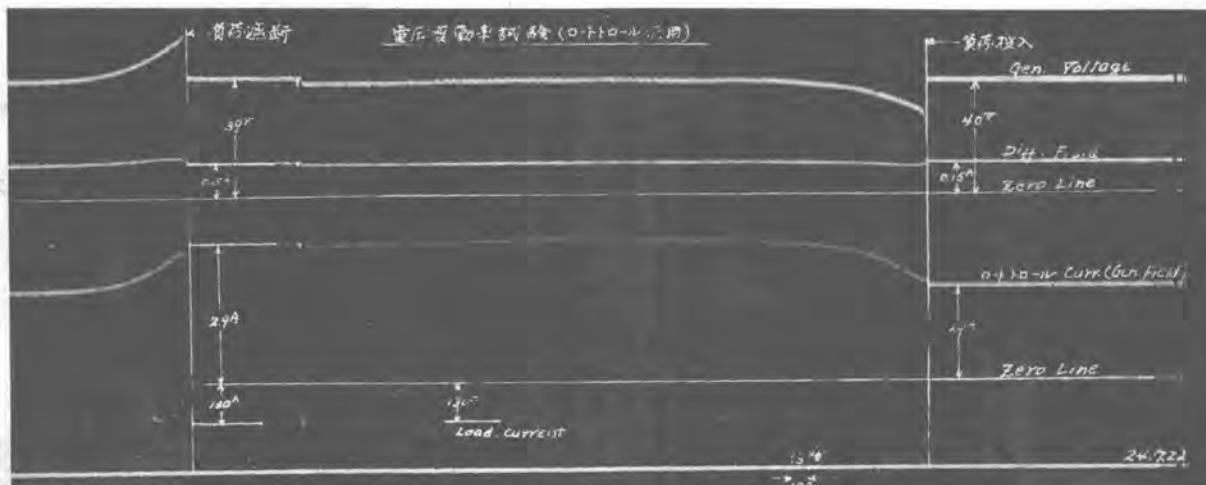
種々の動的増巾率の場合の速應性を示すと 12 圖の様になる。同圖では發電機の IR 降下が發電機端子電壓の頂度 10% になる様な負荷を急に投入した場合の回復率を示す。 $A=1, 2, 3, 4, 16$ の曲線はそれぞれ増巾率 1.2, 3, 4, 16 のときの回復曲線である。負荷を投入した瞬間に電壓は 90% に降下するが 10% に回復するまでの時間は動的増巾率大なる程速くなる。

用途によつて高い速應度を要求される場合には大きな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と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 圖の様に發電機（あるいは電動機）の界磁は普通の圓磁機にて構成される。

実験 ロートトロールによる勵磁
點線 他勵磁



13 図 15KW 直流發電機負荷特性



14 図 負荷投入オシロ写真

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. 直流發電機自働電圧調整試験

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(1HP 直流電動機駆動)

接続圖 4 圖

(1) 各電圧における發電機負荷特性試験(13 圖)

發電機電圧 40V において無負荷、全負荷の電圧何れ
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
電圧においては多少電圧變動率がある。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の他勵磁と
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) 負荷投入オシロ寫真(14 圖)

130A の負荷電流を流す様な抵抗負荷を投入及遮断し
た。最初無負荷で發電機電圧 40V 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)
1.9A VF 電流 0.15A。負荷を投入すれば瞬間 E_g は降

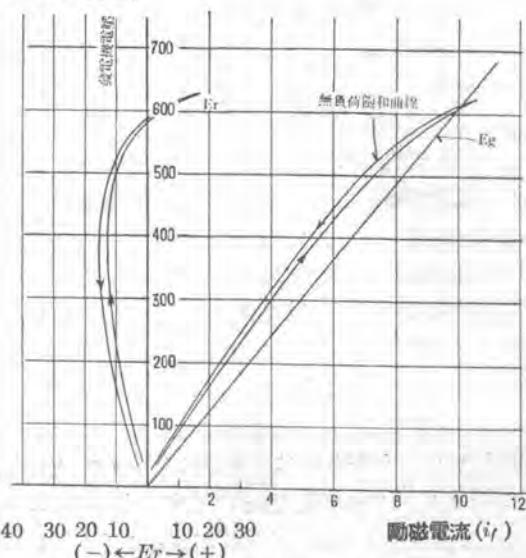
下するが 1 秒で電圧は殆んど回復している。ロートトロ
ール電流は 2.9A に増加する。

次に負荷を遮断すれば瞬間 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圧は 9 ボルトあるが本試
験で i_p を零にすれば發電機電圧は 4.5V 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っているためロートトロールの
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
電圧としては表われない。

8. 直流電動機自働速度調整試験(巻上機用)

—レオナード制御方式—



15 図 発電機電圧調整試験

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 2200V 3φ 140A 900rpm

ロートトロール 0.5KW 140V 5A 1200rpm

接續圖 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 を切外して定電圧

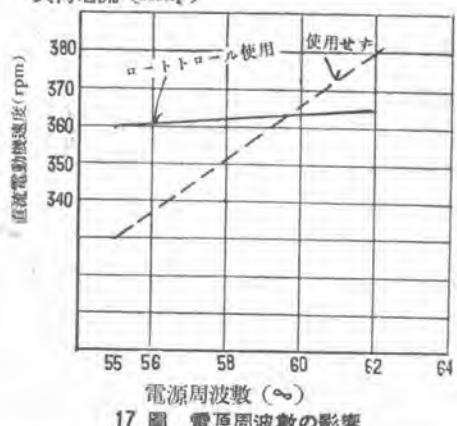
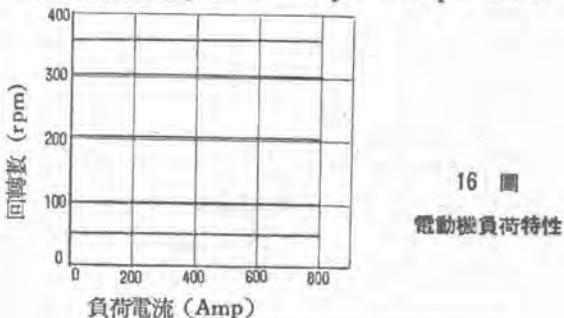
勵磁電源による勵磁とした場合の飽和曲線。

(2) 発電機電圧調整試験 15圖

8圖の接続で(ロートトロール使用)主電動機(M)を切外し発電機無負荷として、 R_f によつて i_f を変化させた場合の i_f と E_g の関係。15圖の E_g 直線、これは4節で述べた様に発電機の飽和曲線に無関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。この場合のロートトロールの発生電圧を E_r として圖に示してある。発電機飽和曲線と E_g 直線との交點にて $E_g = 0$ となり、それ以上では E_g は正、従つて i_f は i_f と同方向、以下では E_g は負、 i_f 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トロール殘留磁氣のあるためであらう。飽和曲線には殘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変動率を示す。50rpm~300rpmにおいて速



度変動率は殆んど零である。

(4) 電源周波数変化の影響 17圖

交流電源の周波数が變化すれば同期電動機、直流發電機の速度が變化する故に R_f を一定としても直流電動機の速度は變る。一勵磁電源壓は一定として、ロートトロールを使用すればその影響が少い。

(5) 勵磁電圧投入のオシロ写真 18圖

第(2)の試験と同様電動機を切外し発電機無負荷で 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トロールプリツジ回路の電流 i_{fr} (抵抗を流れるもの)と i_{fr} (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_{fr} は遅れる。すなわち投入の際には i_f 電流は $A \rightarrow BR \rightarrow (R) \rightarrow R_s \rightarrow BR \rightarrow B$ 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 $GF \rightarrow SF$ に蓄えられていた $\frac{1}{2}Li_f^2$ のエネルギーが $GF \rightarrow SF \rightarrow R_s \rightarrow (R) \rightarrow BR \rightarrow A$ 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て後 i_{fr} は i_{fr} と同様に減少をする。

なおこのロートトロール巻上用として設計したもので速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. ロートトロールの應用

ロートトロール勵磁機は電力方面にも工業方面にも實に廣範囲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。

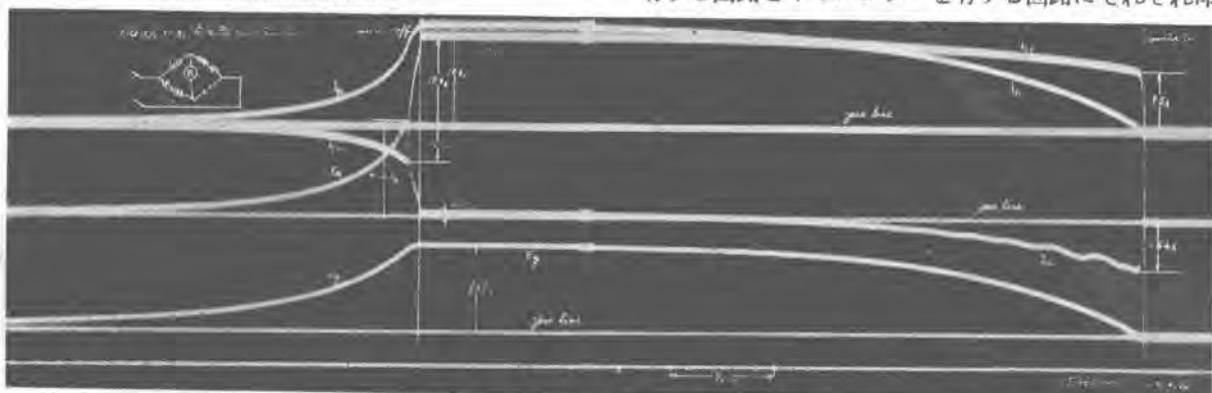
(1) 交流發電機の自働電圧調整

交流發電機の自働電圧調整器として要求せられる性能は、

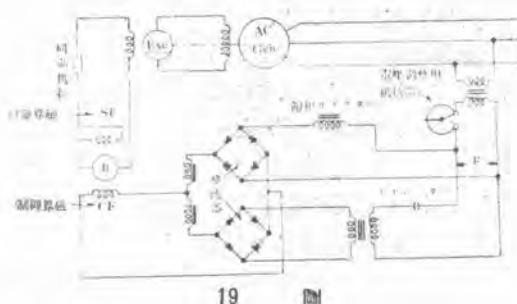
(1) 安定状態においては負荷、温度及周波数の變化に關係なく發電機電圧を正確に維持する事。

(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バシタをもつてゐる。(19, 20圖参照)

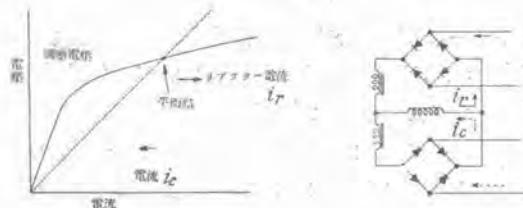
電圧トランスによつて發電機電圧が飽和リアクターを有する回路とキャバシタを有する回路にそれぞれ印加



18圖 勵磁電流投入オシロ写真



19 圖



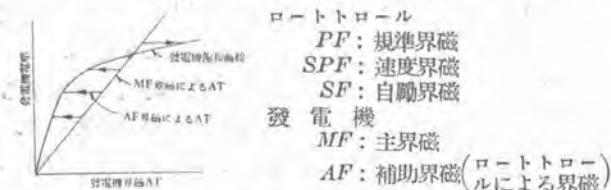
20 圖 ロートトロール界磁電流と発電機電圧との関係

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トロール制御界磁 CF に流れる。もし何かの原因で交流発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バシタ回路の電流よりも急激に上昇する。そしてロートトロールの電圧が下り交流発電機の電圧を適当な値に下げる。交流発電機の電圧が下つた場合は逆の現象がおこる。

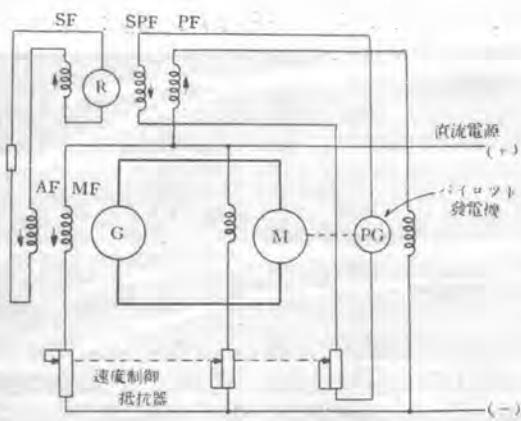
(2) 直流電動機の精密な速度調整

直流電動機の速度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バイロット発電機をロートトロールと共に使用する。この方式は製紙機、製鐵機、織物機、ダイナモメーター、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) 補助増圧器の不必要による設備の簡易化と維持費



21 圖

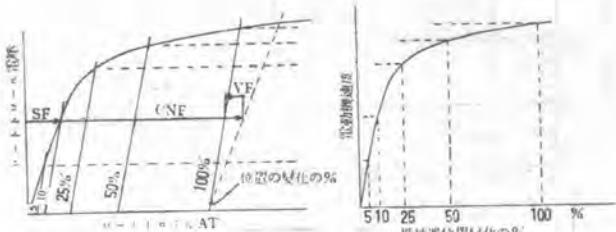
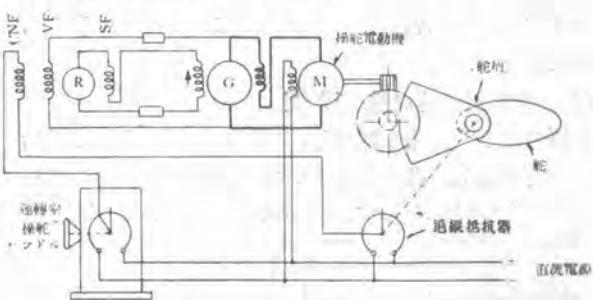


22 圖

の低下

(3) 驅動電圧の変化及界磁コイル温度の不均一による速度変化の自動的補償。(21, 22 圖参照)

大略の速度制御は直流発電機の主界磁 MF 及電動機の界磁調整によつてえられる。ロートトロールは発電機の補助界磁 AF を駆動し、正確な速度調整に必要な駆動の修正をなす。ロートトロール SPF 界磁は電動機の速度の尺度となり規準界磁 PF と比較される。電動機の速度に変化がおこればロート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トロールは修正作用をする。ロートトロールの規準界磁 PF とバイロット発電機の界磁とが直列に接続してある事は電源電圧及界磁温度の変化を補償するに役立つ。



23 圖 操舵装置に應用したロートトロールの回路

(3) 正確な位置の調整

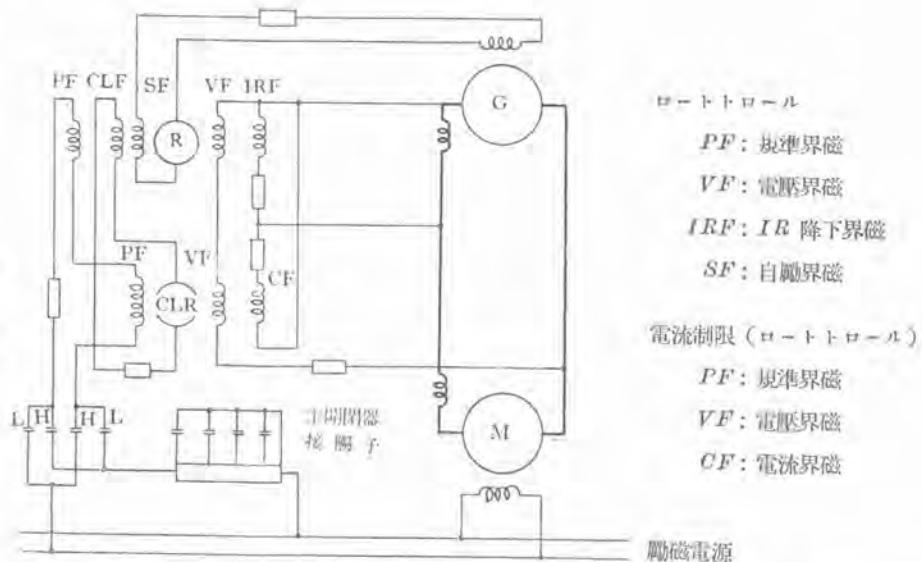
微少な電力の変化によつて大きな力を出す事を必要とする位置の調整にロートトロールを應用する。その例としては

- (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来なければならない。例えば船のプロペラの面を加工する場合等は $1/100''$ 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トロールを使用する。この場合の誤差は $1/4''$ 以内である。23 圖参照

ボーテンショメータ式の抵抗器が運転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駆動せられる。兩者の間に差のあるときは直流発電機の電圧が発生し電動機は回転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トロールは非常に飽和した所を使つている。ロートトロールの電圧界磁 VFE

24 図

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



はロートトロールの電圧を低める、従つて電動機の速度を低くし、舵が正確な位置に近づ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トロールと電流制限ロートトロールを組合せて使用するもので、分塊ミルあるいは鐘山巻揚機等急速な加速・減速及逆轉を頻繁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) 主制御器の運転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輕減せられる。(24 図参照)

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非常に速く、電動機の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トロールに PF, VF は詳略してある。(25 図参照)

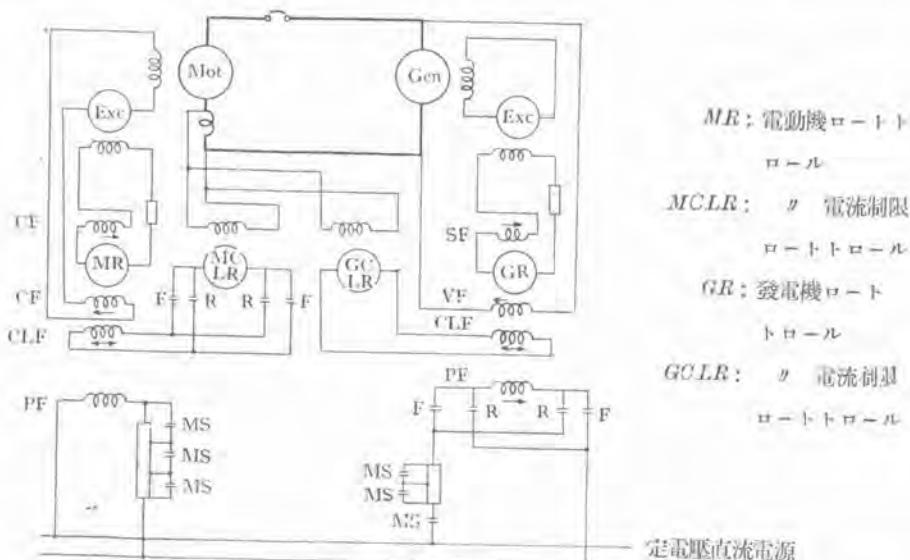
(5) 卷取機の張力調整

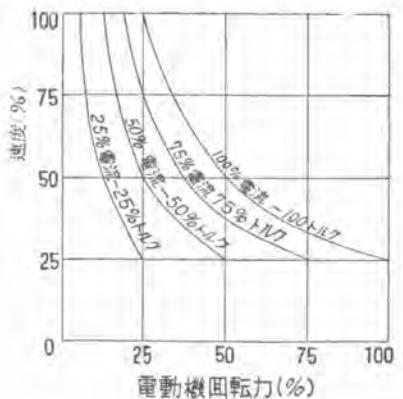
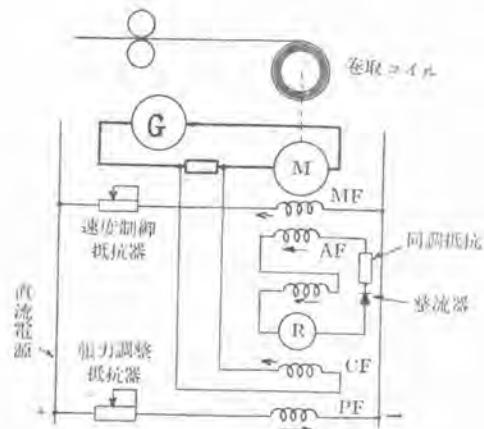
ロートトロールは製鋼、織物、製紙、ゴム工業等のコア型卷取機の卷取及卷外しの張力調整に廣く使用せられる。この場合の特長は

- (1) 卷取コイルの大きさの變化に應じて卷取速度が常に圓滑に變化してもその間何時も卷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 呎/時以上の速度を出す事ができた。

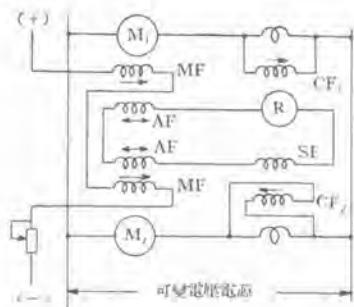
25 図

分塊ミルに使用する場合の接続図





26 圖



27 圖

(3) 慣性の補償ができるために加速度、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つている。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 はロートトロールによつて勵磁せられる。ロートトロールは 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。電動機電流從つて張力は 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囲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。ロートトロールによる平衡方式は過去において使用

圖

されていたものより種々の點において優れている。従来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續は不必要になり、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トロールをプリツ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

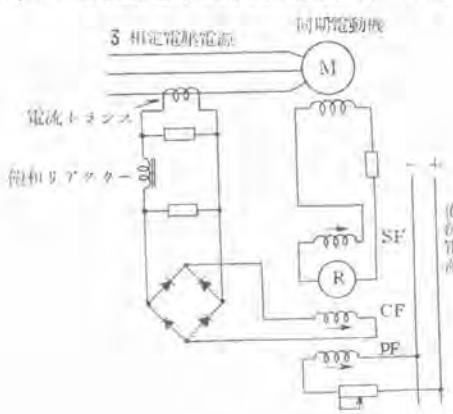
脱出回転力調整一過負荷耐量の増加

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。もし歎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転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トロールによる歎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。

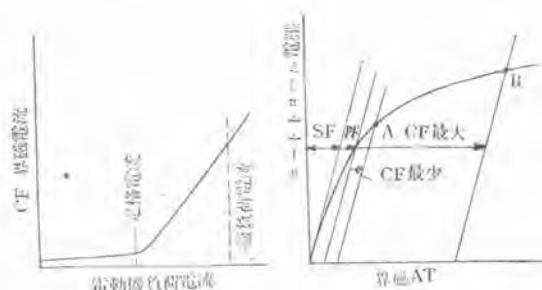
従つて電動機は定格負荷に對して設計すれば充分で、一時的な過歎磁によつて必要な過負荷容量が出せる。この様な負荷の例として製鐵用壓延、製紙工業の粹木機及電氣推進である。安定度調整はまた一種の力率調整となる。しかし正確度を必要としないから裝置は簡単である。

(28 圖参照)

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



28 圖



ターを接続した電流トランスの二次より整流して励磁せられる。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励磁電圧すなわちロートトロール電圧は A より B に上昇し電動機に必要な励磁を與える。

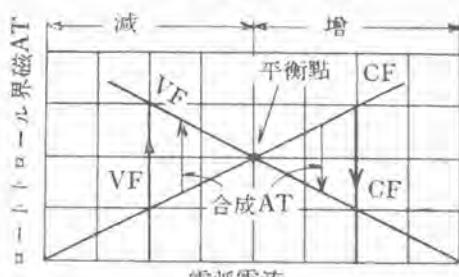
(8) 電気爐の電力調整

電弧爐入力の調整一生产の増大一品質の改善

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トロールによる調整は次の如き優れた性能をもつてゐる。

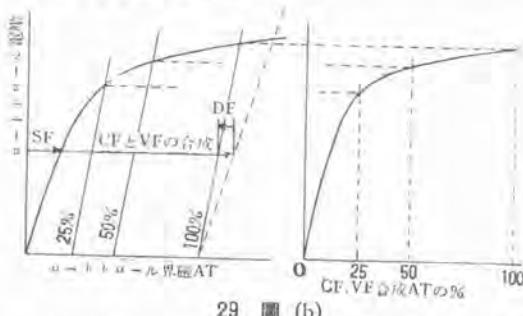
- (1) 電極の破壊は非常に減少した。
- (2) 運轉の圓滑と接觸子やリレーの除去によつて維持費が最小限になる。

電極距離



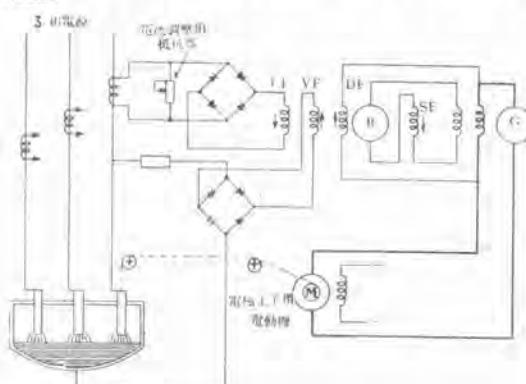
29 圖 (a)

爐の電弧電壓、電極電流の函数として表わした
ロートトロール界磁 AT



29 圖 (b)

電力の不平衝によるロート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 (1 相のみを示す)

ロートトロールの性能と應用・片岡・竹内

- (3) 可變電壓制御は爐の状態に応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每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壓が 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値のときにその合成 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変化によつて生ずる CF と VF の合成 AT はロートトロール電壓を発生し平衡が成立するまで必要な方向に電動機を回転させる。差動界磁 DF の作用は 11 圖に示す様に電動機回転すなわち電極位置が正しい位置に近づいたときに電動機の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、實に廣範囲に應用されている。當社においても終戦後この研究をすゝめ、本文に示す様に卷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る。特に電流制限用ロートトロール (CLR) 及二段ロートトロールに關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.

ロートトロール：電氣工學海外論抄 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

軸電圧は鐵心磁路の不平衡によつて発生し、例えは固定子鐵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、その分割の數と極數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。従つてこの様な鐵心の分割數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、或特殊の極數に對しては止むを得ずこの不都合な分割鐵心を採用せざるを得ぬ場合も起り得るのである。このために多數の電動機の中には軸電圧の發生し得る條件のものもある譯である。

しかるにこれら惡條件の電動機が多數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壓は発生していても、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。あるいは流れっていても、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條件 負荷状態等の外部條件によつて決定的に左右されるものであつて、軸電壓の發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發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、回轉數等がある。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

γ =粘度

N =回轉數

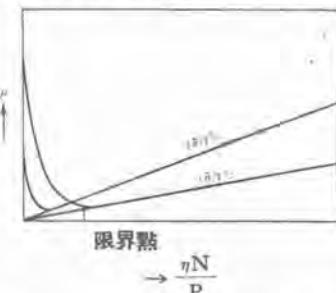
P =軸受荷重

δ =軸半徑

μ =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。

1 圖
摩擦係数



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。

さて軸受部には回轉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、液状潤滑の状態では温度上昇は少ない。潤滑状態が劣化するにつれて、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耗するに至る。これを熔着摩耗と呼ぶ。更に摩擦面の温度が高くなれば熔融する様になつて、軸受メタルが押し出される様な傾向になつて摩耗する。これを熔融摩耗と言う。これ以上になると油膜がますます薄くなり殆んど分子層程度になつて、固体摩擦となり、焼付いわゆる焼損となるのである。

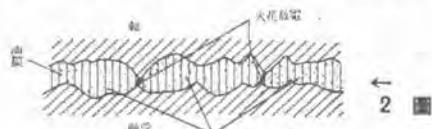
3. 軸電流による磨耗について

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。例えば限界點の油膜の厚さは

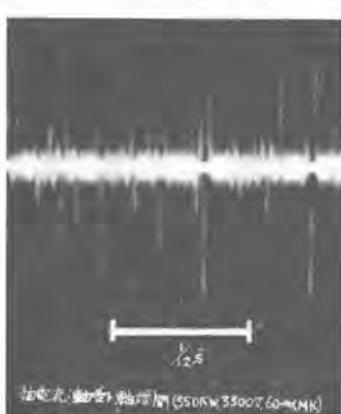
A.S.M.E. の実験によれば $0.000001\text{吋} = 2.5 \times 10^{-5}\text{mm}$
Kingsbury の測定によれば $0.6 \times 10^{-3}\text{mm}$

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れる。あるいは軸電圧と油膜の相対的関係如何によつては、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図の如く凸凹部を有する。この凸凹部が回転して、凸部と凹部が相対向した瞬間に火花放電が発生し、その他の部分では持続電流が流れ全體としてはこの2の電流が重疊される。この状況は3図のオシログラムに示されている。

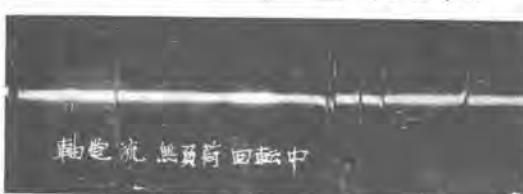
この電流は、電圧は低いけれども、回路のインピーダンスが小さいために、非常に大きな値になることがある。



2図



3図 (A)
軸電流



3図 (B)

り、数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、そのジューク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熔融磨耗あるいは熔着磨耗の発生を促進する譯である。

かように軸受部の潤滑状況が悪い場合には、摩擦熱のみによつて既に磨耗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磨耗を増加さ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、従つて磨耗も局部的に発生し易く、これが次々と轉移して全體の磨耗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磨耗を促進するに至る。

4. Pitting, Scoring

さて軸と軸受メタル間に火花放電の発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溫にさらされる。その高溫によつてその部分は



4図 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。これが軸受金属に発生する Pitting であつて、火花放電による噴火口状の穴が集団的に発生しているのである。(4図)

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っ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発生するときには磨耗を招來し、大電流が局部的に、過渡的に発生すると Pitting や Scoring やとなる。

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いなかつたがこれを起す前程度の軸電流によつて異常な磨耗現象を発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 ツ ド」に つ い て

グリット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
グリット製作上重要な問題であるが、當所で製作中のグリットの成分に近い
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、湿度變化を調べ、合せて現在製作中のグリ
ツ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

鑄鐵の電氣抵抗は銅に比し甚だ大きい。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ト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、マンガン、鎳、硫黃等を含み、それ等がおの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。

高硅素系グリット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、それ等が共析反応によりペ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、分布状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鐵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トを製作したので、その結果を報告し鑄鐵製グリット製作

に對する資料とするものである。

2. グリットの形狀及寸法

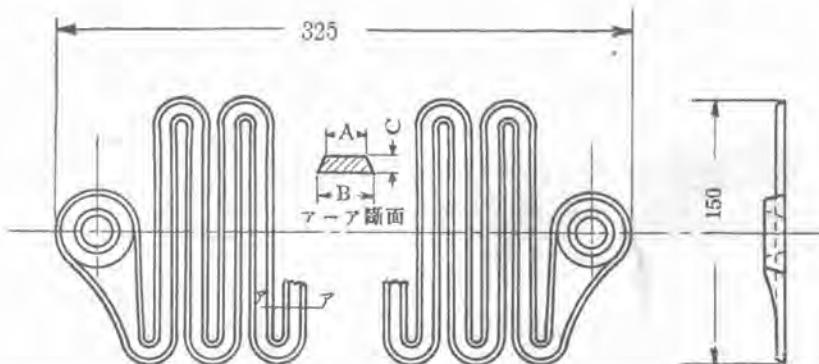
本實驗に使用したグリットの形狀及寸法を1圖に示す。

3. 熔 解

熔解には 950~300 K.V.A. の鹽基性、高周波誘導電氣爐を用い、地金は下表の如く他の元素の影響を少くするため、なるべくマンガン、硫黃の少いものを選び、硅素は 7.5%、フェロシリコンを用いた。

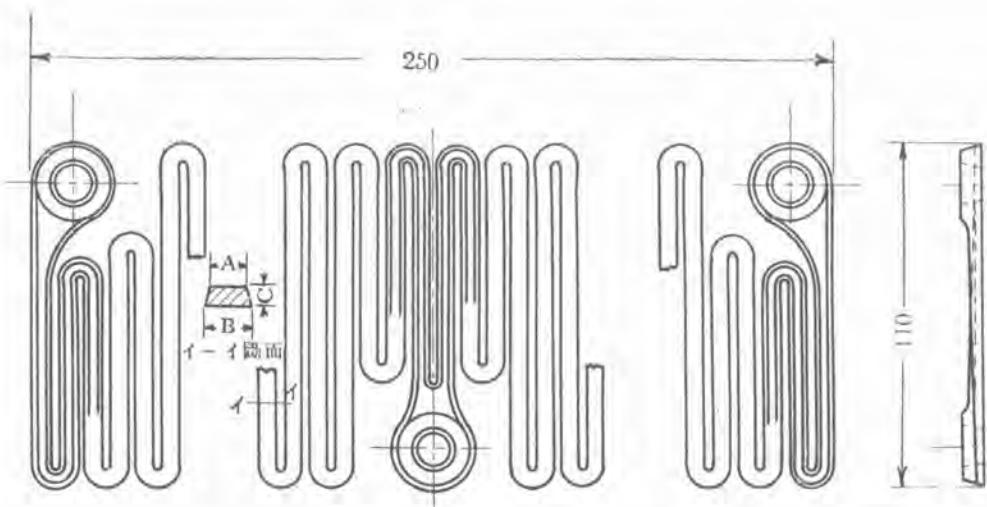
地金成分

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



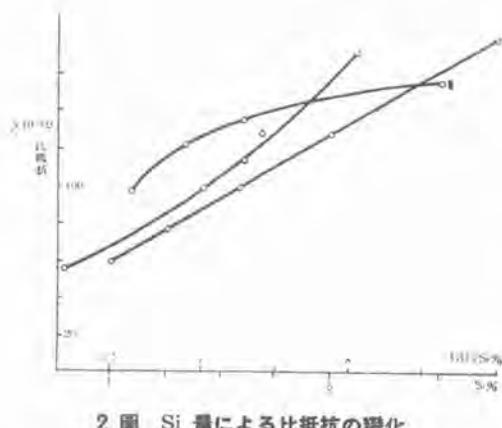
稱 呼	A	B	C	切口の面積 cm^2	抵 抗 Ω	1 個の重量 kg
GB 1	6	9	3	0.225	0.12	0.61
〃 2	10	13	〃	0.345	0.062	0.71
〃 3	9	12	5	0.525	0.042	0.91
〃 4	13	16	〃	0.725	0.025	1.02
〃 5	19	22	〃	1.025	0.013	1.05
〃 6	〃	〃	7	1.435	0.0094	1.47
〃 7	〃	〃	11	2.255	0.005	2.31

1 圖 グリットの寸法及形狀 (a) GB グリット



1 図 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 図 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 $100+15 \times 5$ mm のものを生砂型に鑄込んで測定した。

その結果を 2 図に示す。

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關係。

以上を見ると比抵抗値は硅素量の増加と共に多かれ少なかれほど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% $46.61 \mu\Omega/cm^3$

4.5% $62.37 \mu\Omega/cm^3$

6.0% $80.68 \mu\Omega/cm^3$

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。

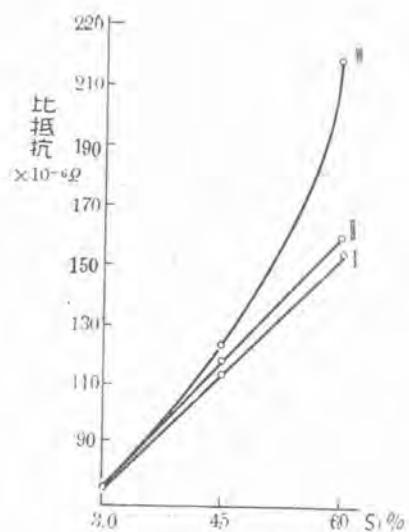
イ. 炭素による比抵抗の変化

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、炭素及び硅素の増加により黒鉛の形態、分布状態が變つてくるため一概には言えない。

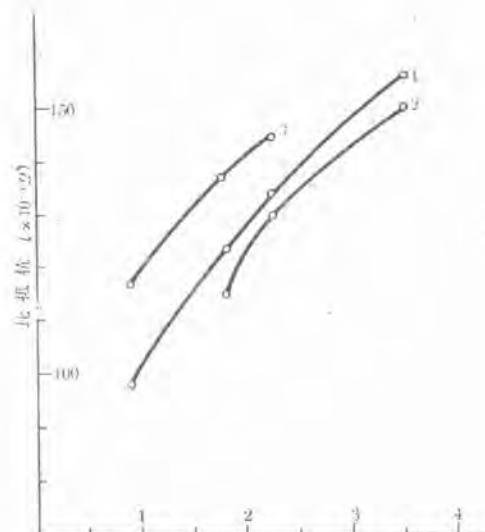
前の実験に使用した試料を、先ず、 $700^\circ C$ で 2.5 時間、次にこれを完全焼鈍すると、基質中の炭素の内バーライトは分解して黒鉛となり析出し、基質はシリコフェライトとなり比抵抗は増加していく。

3 図にこれを示す。

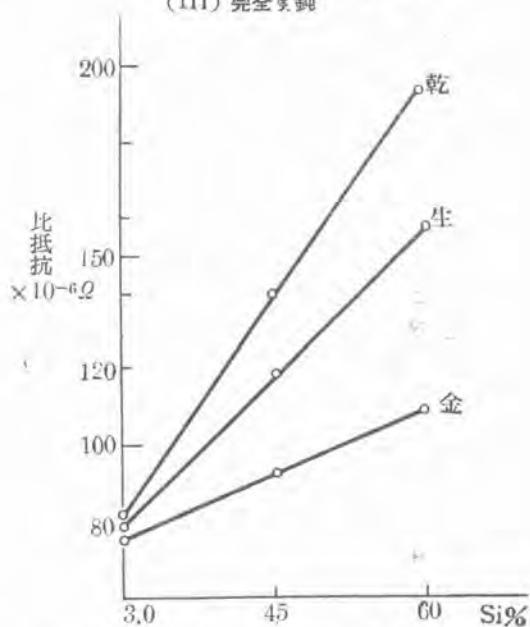
これによつて判るように鑄鐵の比抵抗は明かに黒鉛炭素の量に影響してくる。黒鉛の比抵抗は $1375 \mu\Omega/cm^3$ であり⁽²⁾、硅素を含まぬバーライトの比抵抗は $190 \mu\Omega/cm^3$ で⁽³⁾、シリコフェライトは前述のようなものである故それ等の比抵抗の間には非常に大きな差がある。そのため電流を通じた場合、電流は抵抗の大きい黒鉛をさけて抵抗の少ない基質中を通過しようとするものである。そのため通過距離が大きくなり、比抵抗が大きくなるようと思われる。またこれらの理由により黒鉛は量のみが比抵抗に對し影響するものではなく、その形態、分布状態が非常に影響する。



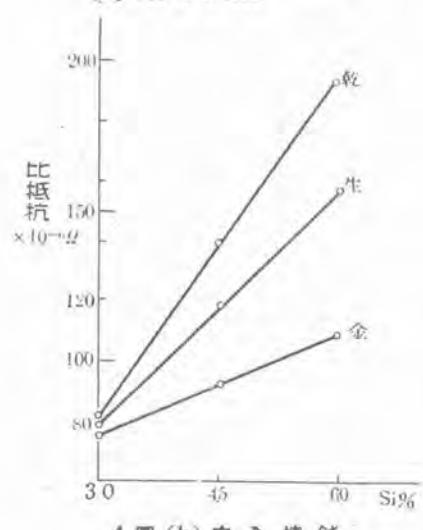
3 図 比抵抗と熱処理との関係
 (I) 鑄造のまゝのもの
 (II) 700°C × 2.5 Hr 烧鈍
 (III) 完全焼鈍



5 図 断面積による比抵抗の変化

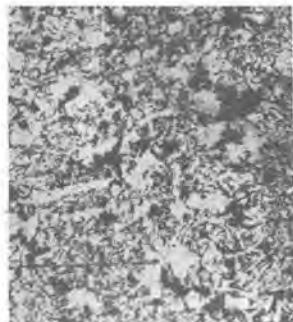


4 図 金型, 生型, 乾燥型に鑄込んだ
ものに對する熱處理の影響
 (a) 700°C × 1 Hr

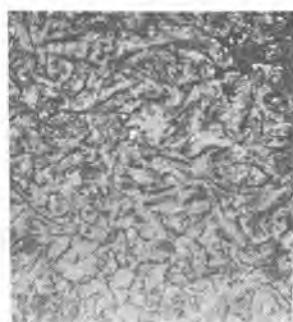


4 図 (b) 完全焼鈍

6 図



7 図



次に黒鉛の形態による比抵抗の変化を見るために、
 $5 \times 150\text{mm}$ の試料を金型, 生型, 乾燥型に鑄込みおのおの焼鈍を行い、その比抵抗を見ると 4 図の如くなる。
 金型では完全にチ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
 ように塊状に一様に分布されたものでは基質中を流れる
 电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つてゐる。

實際のグリットにおいても断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 図のような比抵抗の変化
 が現われている。その成分は次の如きものである。

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

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 のものに鋳込むと 6 図の如き組織を示し、No. 2 のものを断面積 3.5 cm^2 のものに鋳込むと 7 図の如き組織になる。

6 図は 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つてゐる。また 7 図は片状黒鉛とバ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狀は變つてくるものである。

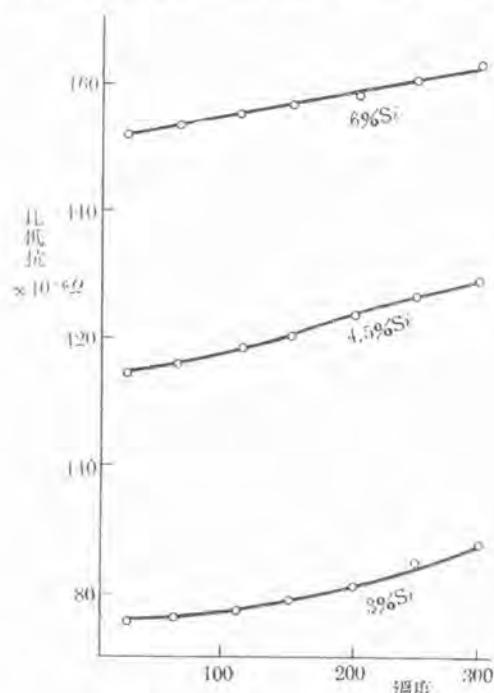
5. 比抵抗の温度変化

$5 \times 5 \times 150 \text{ mm}$ の試料を生型に鋳込み 300°C までの温度変化を見ると 8 図の如くになる。次に完全焼純を行つておのの 300°C までの温度変化を同図に示す。

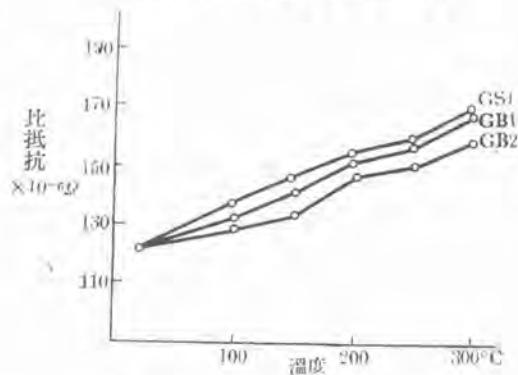
實際のグリッドについて行つた結果は 9 図に示す。

6. 機械的性質

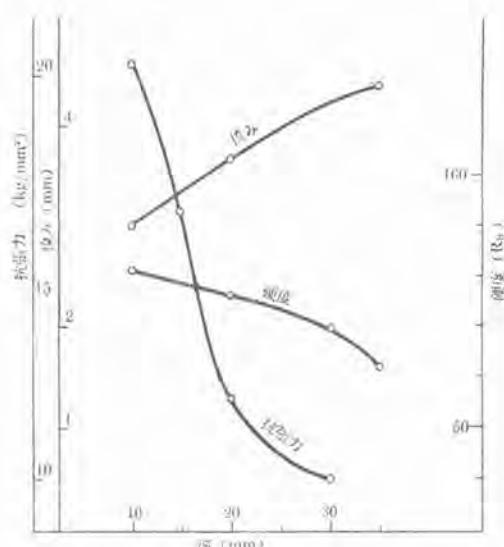
機械的性質としては徑 $10, 20, 30, 35 \mu\text{m}$ の丸棒を生



8 図 Si 量による比抵抗の温度変化



9 図 Gr. d の比抵抗の温度変化



10 図 機械的性質

型に鋳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 図の如くになる。

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硅素に左右され、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) 硅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い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、その形狀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ン、硫黄、燐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續的に變化しない。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。殊にマンガン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はなるべく少いことが望ましい。すなわち白銑化する恐れがあるからである。燐は 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ト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) Yeeuseu; 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 薩摩出力 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）共に戰災被撫を蒙つた。日發當局は終戦後直ちに本發電所の復舊に着手し、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して大いに貢献することができた。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状況

第1號タービン發電機は、被爆當時早速外部的な點検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、發電機を開放點検した。第1號機の上部端面を兩側とも分解内部點検した所、タービン側に油漏れがある有り線輪端部に油、ごみ等の附着が認められたが、集電環側は油漏れ無く両方とも手入すると回轉子は引出さなくてよいと認められた。

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。外部的點検の結果第4號機に對しては次のような状況が判つた。

(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ヶ所のみは弾片が嵌込んでいた。その後固定子枠の外部の弾片の跡を内部點検ができる範囲に切りひろげ内部を點検した結果、外板を貫通した弾片は鐵心外側を深さ約5粂、廣さ約30粂位の疵をつけ、その弾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粂角の弾片が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弾片の大きさ、通風溝の大きさを考慮して充分點検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弾痕は無かつた。

(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。その他弾片は見當らず、基礎内下部にそれらしき弾片があつたが、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) 主勵磁機用ツッキング板、押え板及び同上用整流子プラッケツト取付孔の一部及び同上用刷子用絶縁キャップ等破損した。

(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検結果をのべたが、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。補機用電動機にても大部分は、發電所側で修理、手直をした儘で使用することができたが、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面を取り外し、内側端面を分解し、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. 主圓磁機ファンカバー及び刷子保持器等を取り外して内部を手入し、主圓磁機、副圓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クスを塗附した。

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

(2) 第4號機關係

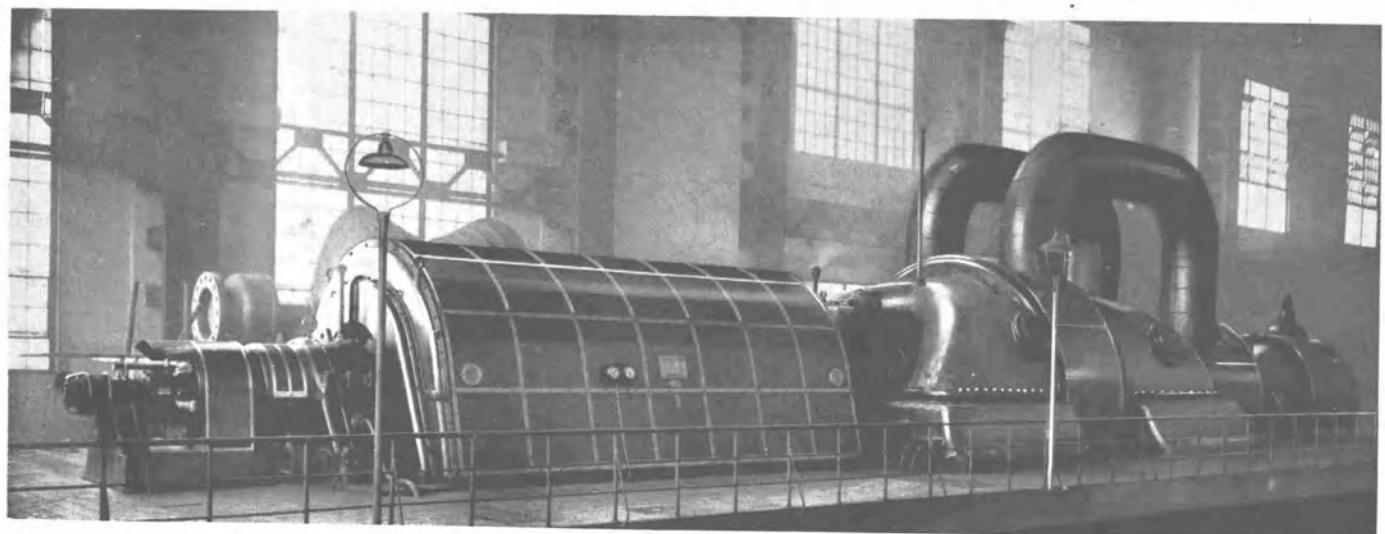
a. 1で述べた様に疵ついた鐵心部分をはり取り鐵心相互の接觸を無くして、充分清掃した後鐵心間に絶縁紙を挿入した。固定子枠の外板を瓦斯切斷して切り擱げた後内側から4粂の鐵板を電氣熔接し、その上にラッギング板をはり押え板で取付けた。なお發電機の勵磁機側のカバーの貫通孔は外部から3粂の鐵板で電氣熔接した。

b. 1で述べた破損品はすべて新製した。

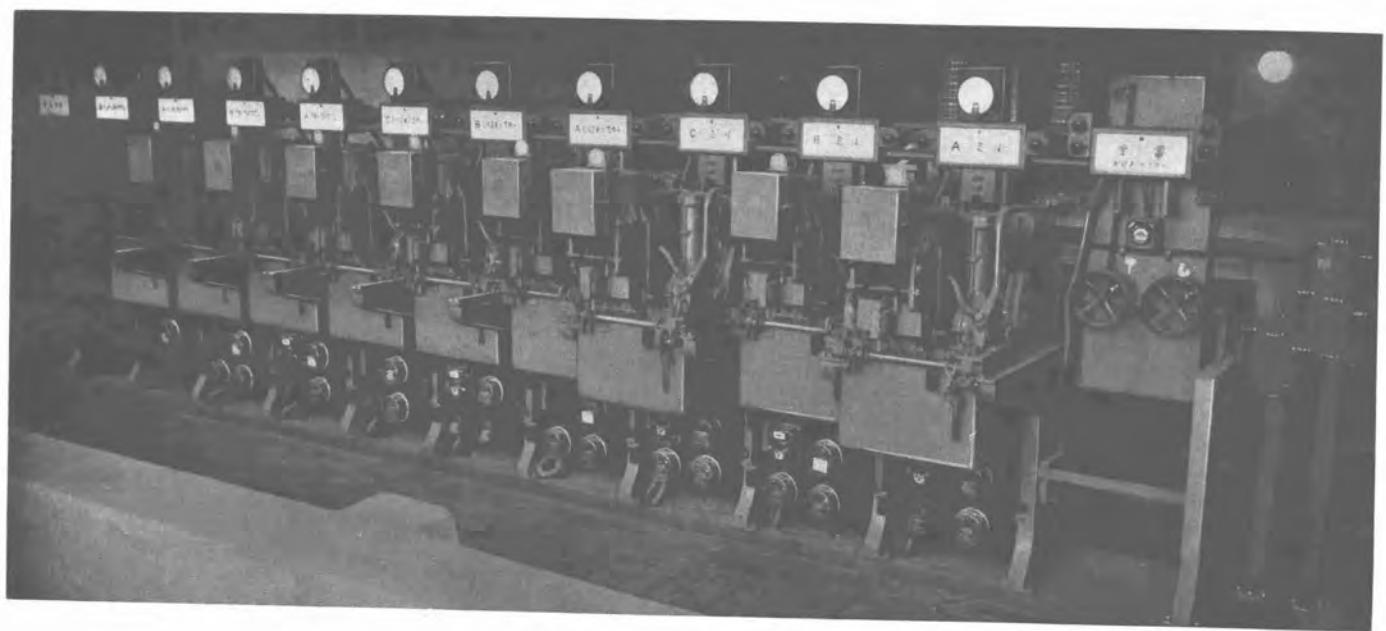
c. 第1號機と同じく、主發電機用スラスト軸受、主軸受ならびに固定子の空氣出入口用丸型温度計を新製した。

d. 界磁加減抵抗器操作用電動機 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 蒸化器発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	新製 〃 〃 〃 〃 〃
--	-----------------------------

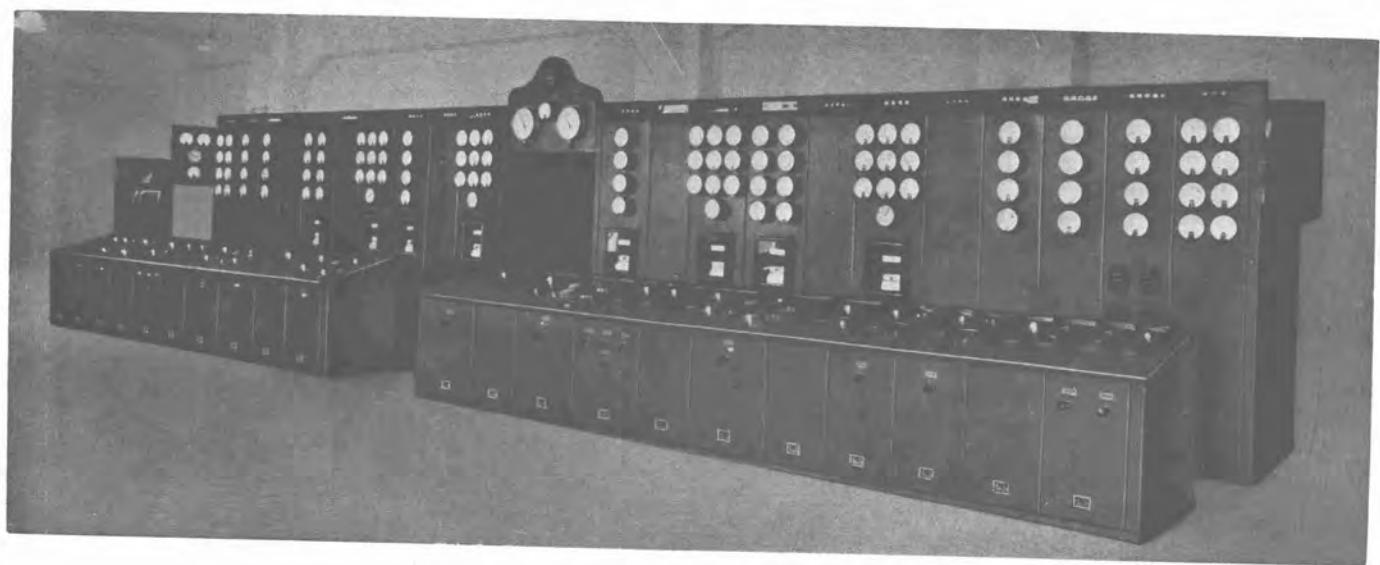
以上の修理によつて主タービン發電機關係が済んだということは、第1號機については被害が輕微であり、また第4號機については、固定子枠外板には相當被害があつたが、線輪關係に被害が無かつたからである。主タービン發電機の運轉特性は本工事後も從来に比べて遜色はない。



尼二納入 復舊用タービン發電機



尼二納入 復舊用メタルクラット



尼二納入 復舊用配電盤