

絶縁油の化学組成と油浸紙の破壊特性の関係

Relation between Chemical Component of Insulating Oil and Breakdown Characteristics of Impregnated Paper

佐藤 春 枝*
Harue Satô

内 容 梗 概

化学組成の異なる絶縁油のガス特性について種々検討されているが、この結果からケーブルの破壊特性を推定することは困難である。このため芳香族含有量の異なる低粘度絶縁油を浸した油浸紙の、交流ならびにインパルス破壊試験を行なった。

これらの結果から含浸油の芳香族成分と交流破壊特性は関係があり、たとえばフルフラール数3%まで破壊強度は上昇するが、これ以上に芳香族含有量が増加しても破壊強度はあまり増さない。またインパルス破壊強度は芳香族含有量に影響せず、主として含浸油の粘度に依存することを明らかにした。さらに鉱油に対する添加剤ならびに合成油ドデシルベンゼンの効果についての検討を行なった。

1. 緒 言

電力需要量の増大に伴って、戦後わが国では60~70 kV OF ケーブルが普及してきたが、最近では140 kV, 275 kV OF ケーブルの実用段階に至っている。また近年は400~500 kV 超高圧ケーブルの製造が可能となり、このようにめざましい技術的発展は、絶縁材料の改善と製造技術上における飛躍的進歩にほかならない。

OF ケーブルの主絶縁材料の一つとして重要な地位を占める含浸用絶縁油は、熱劣化ならびに高い電界に対して永続的な安定性が必要である。強電界中での絶縁油の挙動は、1932年にロンドンで132 kV ケーブルの破壊事故が起こってから重要視され、古くから絶縁油の水素ガスの吸収、発生に関する研究が種々行なわれている^{(1)~(3)}。筆者はさきにモデルケーブルを用いた耐コロナ試験法で、各種のOF ケーブル油につき耐コロナ特性を測定した結果、従来のピレリ形⁽²⁾およびジューメンス形⁽³⁾ガス試験器の測定結果よりも実ケーブルに適用して役だつことを知った。

以上述べたように超高圧ケーブルは、OF ケーブル油のガス吸収性が重要なため、絶縁油部会でこの問題を取り上げ、ピレリ形改良ガス試験器を共同製作して長期にわたり検討を行ない、最近技術資料として報告された⁽⁵⁾。

絶縁油の化学組成とガス吸収ならびに発生特性に関する多くの報告^{(3)~(6)}が見受けられるが、実験者によって異なる結果が得られている。これは試油の組成の相違もさることながら、ガス試験時における測定時の課電圧や温度の及ぼす影響が大きいので、ガスの吸収、発生の限界を化学組成から一律に決定づけることは困難であろう。

また、絶縁油のガス吸収量をいくらにすれば実用上良いか、問題はたいへん重要でありながら、定性的にガス吸収性であればよい、あるいは吸収量が多いほど望ましいというばく然とした推定に頼っているのが現状である。筆者が行なったモデルケーブルの耐コロナ特性も同様に、ケーブルの破壊強度を推定することは困難であって、むしろ絶縁油の組成と油浸紙の破壊特性の関係を知らぬことがより実用的価値の大きいことがわかった。このため原油ならびに精製度の異なる炭化水素系OF ケーブル油を主体にし、さらにポリブテン油を浸した油浸紙の交流ならびにインパルス破壊特性を測定した。また、モデルケーブルの交流長時間破壊試験を行なった。

このほか最近絶縁油の破壊特性を向上させるため、添加剤を用いることが考えられているが、一例としてキノリン系⁽⁷⁾あるいはドデシルベンゼン⁽⁸⁾を少量用いた場合は、ガス吸収性の改善あるいはイ

ンパルス破壊強度が上昇している。筆者は流動パラフィンに数種の添加剤を5%以下加えた場合の効果を実験したが、平等電界で破壊電圧を上昇させるには大量に使用しないと効果が少ないので、相溶性あるいは電気的有害性の問題が今後に残されていると考えられる。また、合成油ドデシルベンゼンの油浸紙につき破壊特性を検討した。

以上の結果から、油浸紙の破壊特性は含浸する絶縁油の化学組成や粘度によって大幅に影響をうけることが判明したので、これらの関係について述べる。

2. 油浸紙の破壊特性に及ぼす各種絶縁油の影響

2.1 供試絶縁油の諸特性

供試油として用いた炭化水素系ポリブテン油(試-A)と化学組成の異なる内外の鉱油12種(試-B~N)を第1表に示す。油浸紙の破壊特性は含浸油のガス吸収性と関連することが予想されるので、ガス発生形の飽和成分の流動パラフィンから、不飽和成分を含んだガス吸収形のOF ケーブル油までを供試した。一方インパルス破壊強度は油の粘度に依存し、測定温度と含浸油の種類はあまり影響しないといわれているので⁽⁹⁾、実験には粘度が100°Fで72 csの試-C油以外は3.9~25 csの低粘度油を用いた。

また、ガス吸収特性は芳香族含有量に依存するので、これと関連のある組成関連値のフルフラール数 $=-1.4\sim 7.4\%$ 、比分散 $=98\sim 122$ 、 $n-d-M$ 分析の $\%C_A=0\sim 17\%$ の範囲である。原油ならびに精製法が異なるので、 $n-d-M$ 分析から求めた $\%C_A$ や比分散はフルフラール数に対し、第1図のように比例して大きい値を示している。

絶縁油の誘電正接ならびに体積抵抗率は良好であるが、白土処理の少なかった2~3の試料は若干低下していた。しかしこの程度の電気特性であれば、油浸紙の破壊特性に悪影響を及ぼすことはない。

2.2 平板電極による破壊特性

電極に接する1枚に9 mmφの穴を設けたOF-125紙4枚を重ね真空度0.05 mmHg以下で100°C 8時間乾燥を行なった後、脱ガスした試料油を常温で24時間真空含浸した。測定電極は有効直径25 mmφの端末をエポキシ樹脂で補強した平板-平板電極を使用した。

油浸紙の交流破壊試験はAC50 c/s, 15 kV/分印加後、500 V/分の割合で、インパルス破壊は1×40 μsの標準波を50 kV/3回印加後に3 kV/3回の割合で上昇し破壊させた。なお破壊試験は交流、インパルス破壊ともにおのおの8回行なった。

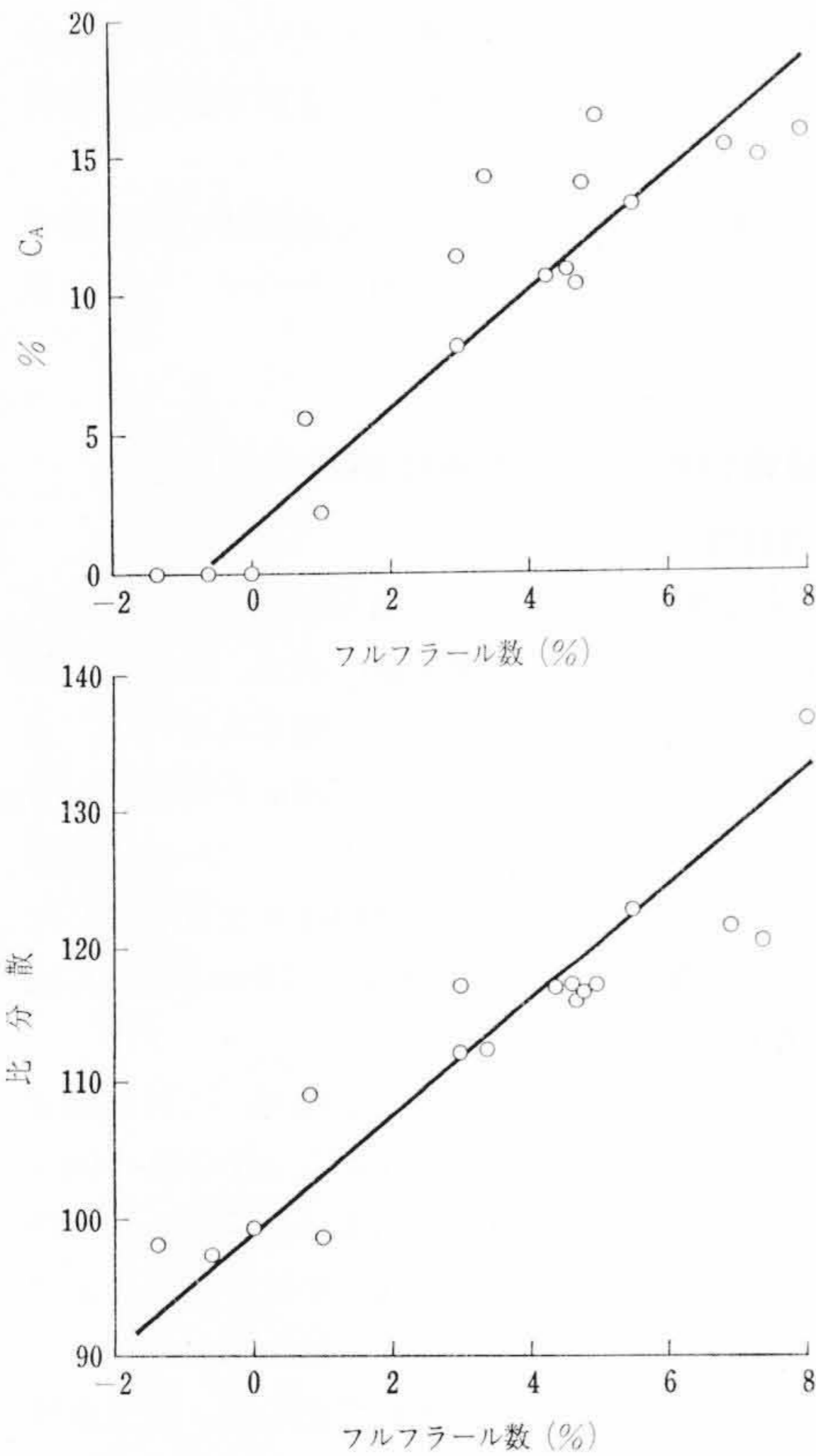
芳香族含有量を示す尺度として、測定精度が高く簡便なフルフラール数を用い、組成の異なる絶縁油(行-A~J)を浸した油浸紙の

* 日立電線株式会社日高工場

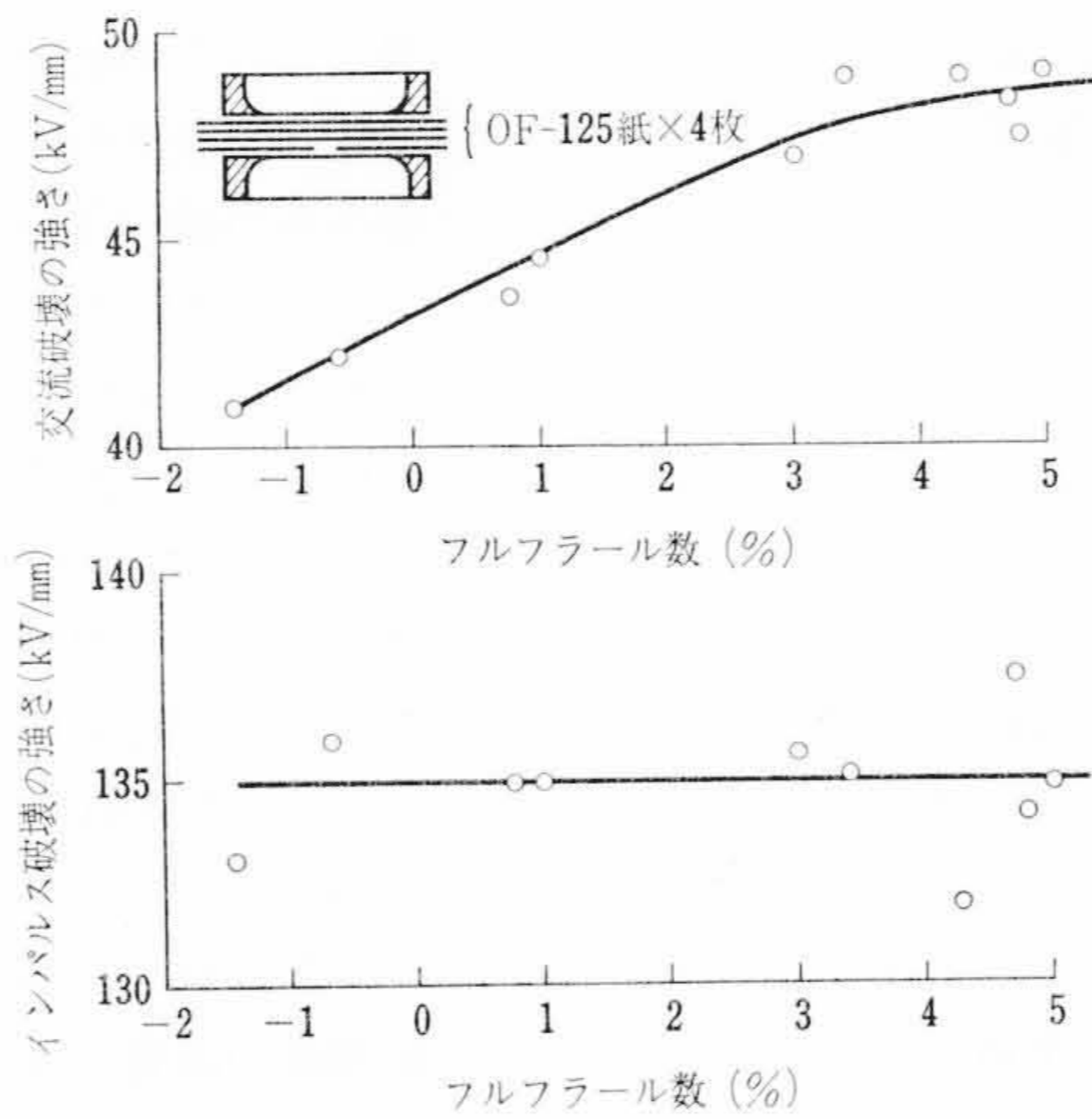
第1表 供試絶縁油の諸特性

試油	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	N	
測定項目														
比重(20°C/4°C)	0.8436	0.8696	0.8873	0.8625	0.8868	0.8801	0.8830	0.8769	0.8802	0.8854	0.8615	0.8628	0.8976	
引火点(°C)	132	166			143	152	140	140	153.7	151.0	122	116	139.5	
流動点(°C)	-48.0	-30			-40以下	-31.0	-50以下	-50以下	-33.0	-35.0	-37.5	-50.0	-40以下	
フルフラール数(%)	0.8	1.0	-1.4	-0.6	3.0	4.3	4.7	5.0	3.4	7.3	7.3	3.5	6.9	
屈折率(n_D^{20})	1.4673	1.4732	1.4814	1.4690	1.4883	1.4848	1.4810	1.4830	1.4830	1.4850	1.4760	1.4765	1.4948	
比分散(d_{20})	109.2	98.7	98.2	97.5	117.4	117.3	116.3	117.4	112.5	116.8	121	115.5	122	
動粘度(cs)	100°F	24.9	10.35	71.7	13.4	12.4	10.5	7.8	7.92	11.3	9.85	4.4	3.94	9.7
	210°F	4.72	2.55	7.96	3.07	2.8	2.50	2.05	2.08	2.71	2.60	1.57	1.38	2.27
誘電正接(%)	新油	0.008	0.014	0.002	0.010	0.010	0.46	0.023	0.01	0.026	0.08	0.012	0.011	0.12
	劣化油	0.046	0.018	0.006	0.014	0.37	1.50	0.091	0.047	0.29	1.5	0.176	1.10	1.12
体積抵抗率($\Omega\text{-cm}$)	新油	2.0×10^{15}	1.4×10^{15}	4.5×10^{15}	3.8×10^{15}	3.3×10^{15}	4.0×10^{12}	2.1×10^{15}	2.5×10^{15}	2.3×10^{14}	1.65×10^{13}	1.6×10^{15}	9.0×10^{14}	2.0×10^{13}
	劣化油	4.6×10^{13}	1.1×10^{15}	4.5×10^{15}	1.7×10^{15}	1.8×10^{13}	1.1×10^{12}	7.3×10^{13}	9.5×10^{13}	7.2×10^{12}	1.2×10^{12}	3.3×10^{13}	2.3×10^{12}	1.5×10^{12}
n-d-M 分析	%CA	5.6	2.2	0	0	11.5	10.7	10.4	16.6	14.4	14.1	15.9	11.2	15.5
	%CR	11.8	46.0	44.8	41.2	52.2	48.3	51.4	49.2	46.1	48.1	50.9	45.5	55.9
	%CP	88.2	54.0	55.2	58.8	47.8	51.7	48.6	50.8	53.9	51.9	49.1	54.5	44.1
	%CN	6.2	43.8	44.8	41.2	40.7	37.6	41.0	32.6	31.7	34.0	35.8	34.3	40.4
	RA	0.31	0.08	0	0	0.39	0.36	0.32	0.50	0.49	0.46	0.46	0.43	—
	RN	0.36	1.80	2.83	1.86	1.80	1.63	1.56	1.26	1.34	1.40	1.37	0.89	—
	RT	0.67	1.88	2.83	1.86	2.19	1.99	1.88	1.76	1.83	1.86	1.83	1.32	—

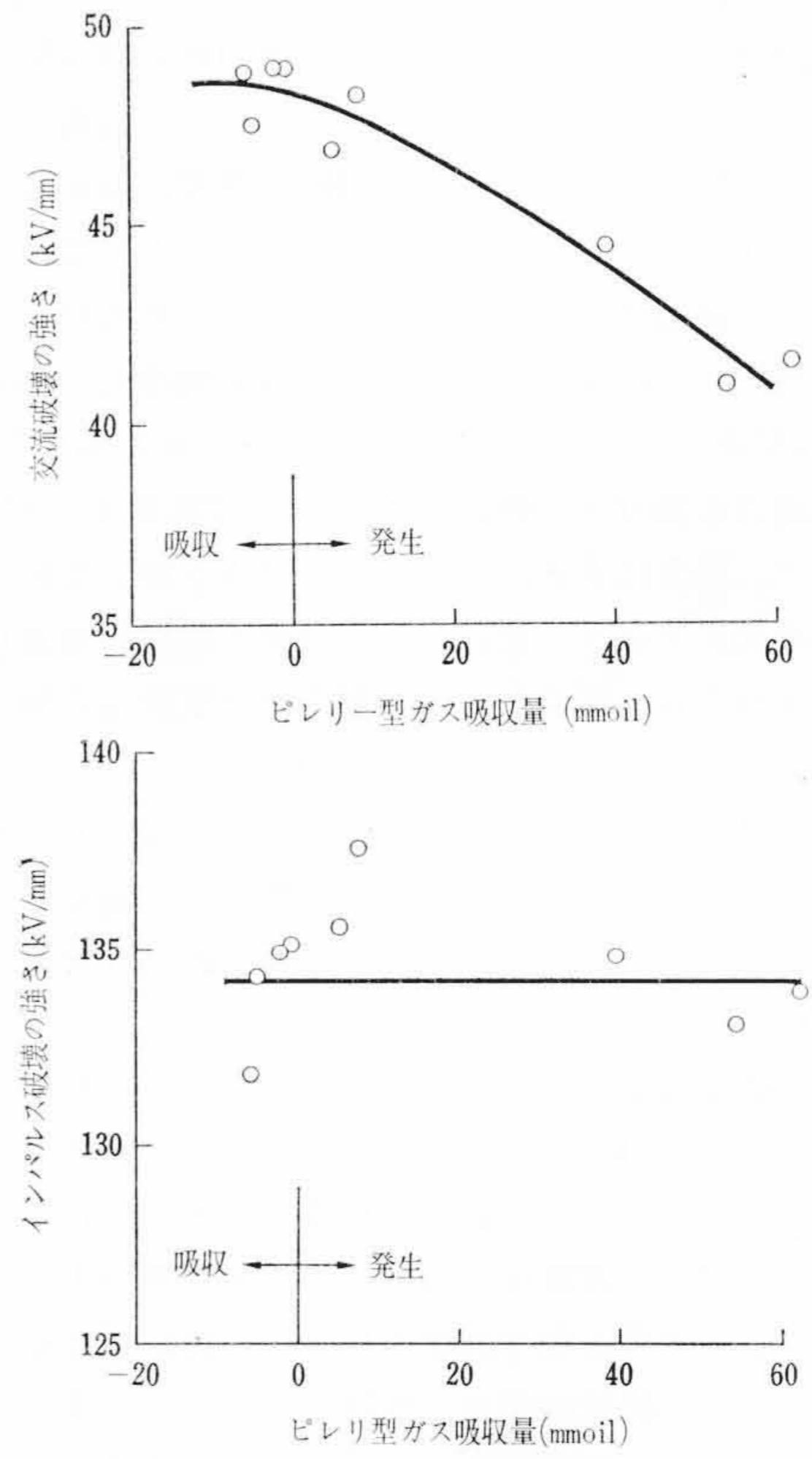
注 (1) 酸化劣化条件 115°C×96時間空气中加熱(試料油 300cc)
 (2) 電気特性 80°C測定
 (3) A:ポリブテン油, B~L:国産原油(ただしDは外国原油) N:外国原油



第1図 含浸油の%CA, 比分散とフルフラール数の関係



第2図 含浸油のフルフラール数と油浸紙の破壊特性の関係(平板電極)



第3図 平板電極による油浸紙の破壊強度とビレリ型ガス吸収量の関係

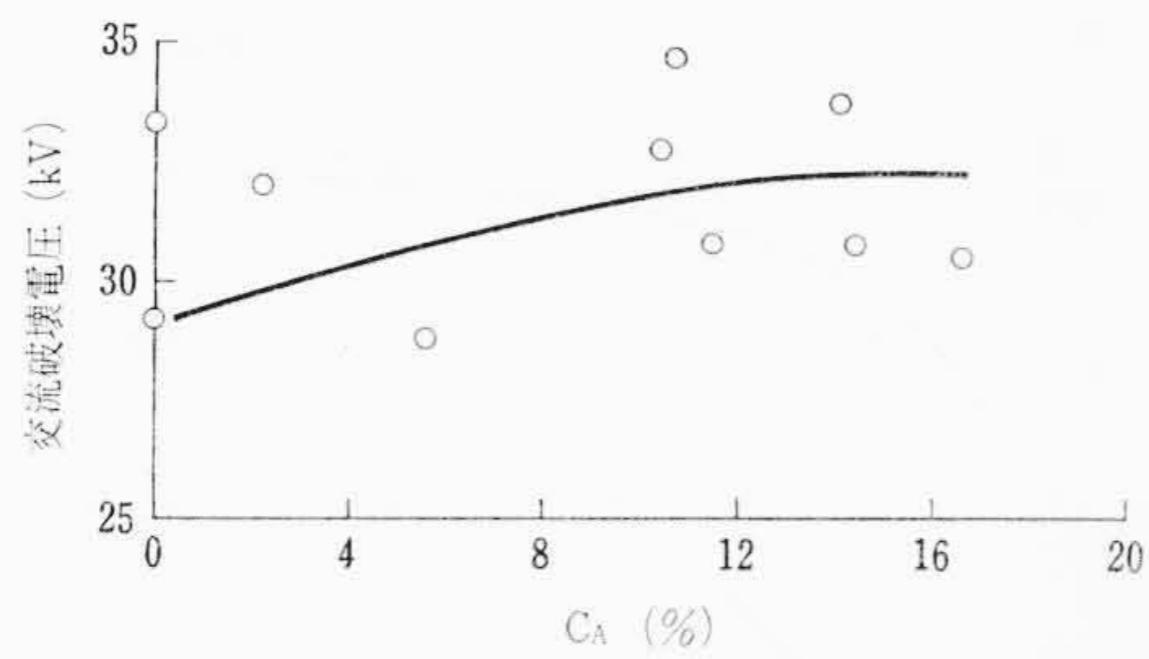
破壊特性との関係を第2図に示した。これらの結果から交流破壊強度はフルフラール数と密接な関係があり、フルフラール数3%まではほぼ直線的に増加する。しかしそれ以上に芳香族成分が増しても破壊強度はあまり上昇しないことが明らかになった。なおポリブテン合成油(試-A)も鉱油と同様な特性を示し、芳香族成分が少ないので破壊強度は低く流パラ程度であった。

インパルス破壊強度は測定値の変動係数4.5%を考慮すれば、第2図より明らかなように芳香族含有量は関係しないと判断される。

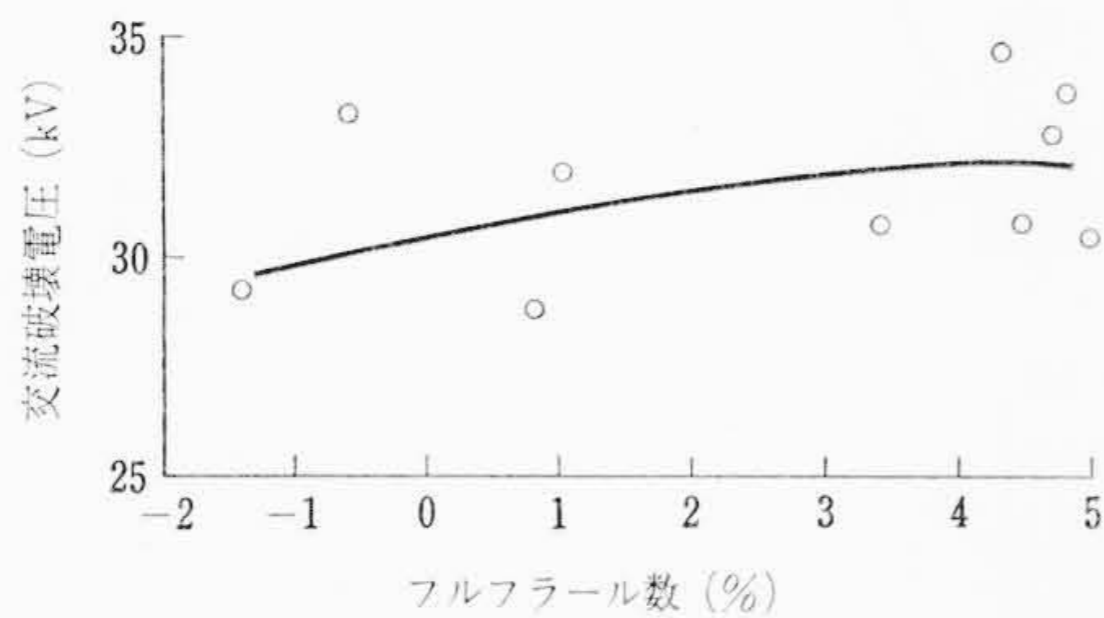
ビレリ形改良ガス試験器(離合社製)を用い80°C中で8kVを課電して測定したガス吸収、発生量と破壊特性の関係を第3図に示し

た。ガス吸収量が少なく大半の油がガス発生形になっているのは、試油の脱ガスを行わずにH₂ガスを油面空げきに充てんして試験しているため、油中のN₂ガスがガス発生を助長したと考えられる。たとえばH₂ガス中でガス吸収であっても、67%N₂-33%H₂の混合ガス中ではガス発生に移行している⁽¹⁰⁾。

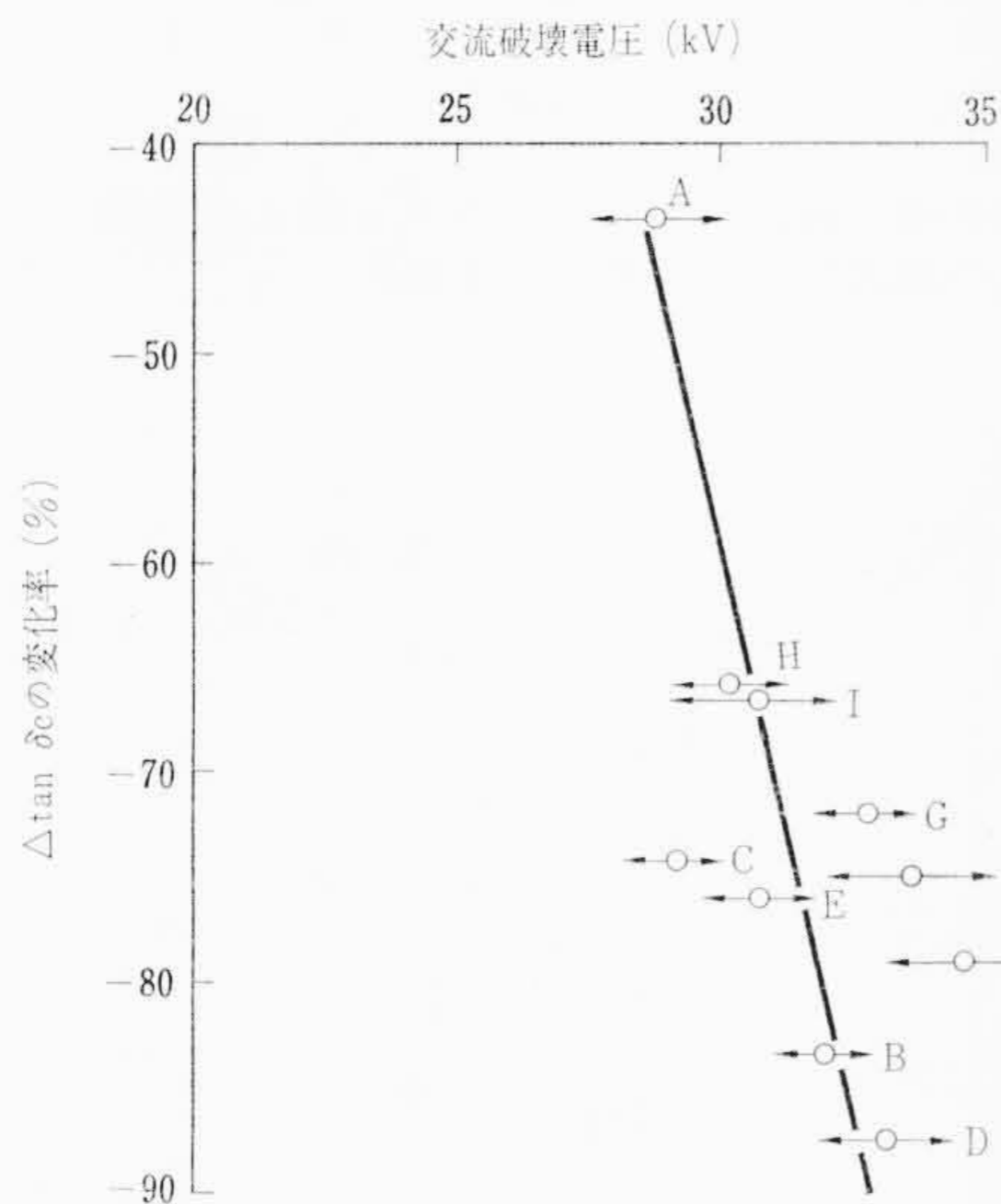
第3図からガス発生点を限界に交流破壊強度は低下するが、ガス吸収性の部分における破壊強度は変化なく一定である。絶縁油のビレリ形ガス試験器によるガス特性は芳香族含有量とほぼ直線関係にあるが⁽¹¹⁾、油浸紙の破壊特性はガス吸収量の多いところで、相関性が認められなかった。



第4図 含浸油の%CAとモデルケーブルによる交流破壊電圧の関係



第5図 含浸油のフルフラール数とモデルケーブルによる交流破壊電圧の関係



第6図 モデルケーブルのΔtan δ_cの変化率と交流破壊電圧の関係

ただし、これは鉱油の場合にいえることで、試-Aのポリブテン油はガス吸収量が102 mmOilで多いにもかかわらず42.2 kV/mmで、流パラ程度の低い破壊値なので図示しなかった。このようにポリブテン油はガス吸収量が多くても交流破壊強度は低いので鉱油と同一に取り扱うことはできない。むしろ化学組成と破壊値が鉱油と同様な関連性をもっている。

2.3 モデルケーブルによる交流破壊特性

前述のように絶縁油の化学組成は油浸紙の交流破壊特性にのみ影響することが明らかになったので、さらにモデルケーブルを用い交流長時間破壊試験を行なった。モデルケーブルの導体には16 mmφの平滑導体を使用し、100°Cの空気恒温槽中で6時間予備乾燥したOF-125紙8枚を1/3バットラップに巻き、この上を鉛テープで押え巻きして外部導体とした。

このケーブルを真空引きのできる測定端子付ガラス管に封じ、100°Cで12時間真空乾燥を行なった。つぎに脱ガス処理した試料油を12時間真空含浸し、さらに大気圧にもどして2時間後に試験を開始した。電圧上昇は25 kVを1時間印加した後に1 kV 1時間の割合

第2表 精製度の異なるOFケーブル油の特性

試料	1	2	3	4
測定項目				
比重 20/4°C	0.8836	0.8771	0.8186	0.8487
引火点 (°C)	150	151	150	150
フルフラール数 (%)	8.0	5.5	3.0	0
屈折率 n _D ²⁰	1.4884	1.4837	1.4773	1.4632
比分散 (δ ₂₀)	137.4	123.1	112.5	99.5
粘度 100°F	8.31	8.25	8.23	7.76
CS 210°F	2.19	2.18	2.18	2.16
誘電正接 80°C (%)	0.134	0.011	0.009	0.0095
抵抗率 80°C (Ω-cm)	1.24×10 ¹³	7.2×10 ¹⁴	5.0×10 ¹⁵	4.1×10 ¹⁶
クロマト分析 (%)				
飽和分 (%)	71.5	74.7	79.3	99.4
芳香族分 (%)	28.0	24.9	20.4	0.3
Brook法 樹脂分 (%)	0.5	0.4	0.3	0.3
n-d-M法 環分析				
% CA	16.0	13.4	8.2	0
% CR	49.8	49.2	47.7	44.3
% CP	50.2	50.8	52.3	55.7
% CN	33.8	35.8	39.5	44.3
RA	0.50	0.42	0.26	0
RN	1.33	1.39	1.51	1.62
RT	1.83	1.81	1.77	1.62

で行ない破壊させた。破壊試験は各試料油について、モデルケーブル4本ずつ行なった。

交流長時間破壊電圧と組成関連値%CAあるいはフルフラール数の関係を第4,5図に示した。測定点は4回の平均値を表わしたが、各破壊電圧の変動係数は3%以内であった。これらの図から芳香族分による交流破壊電圧の上昇は約10%で、平板電極で得られた17%より少なかったが、破壊電圧の上昇する傾向は第2図と同様な傾向をたどっている。これらの結果から超高压ケーブル油としては、芳香族量の目安として%CAを10%以上、フルフラール数を3%以上、比分散を112以上にする必要がある。

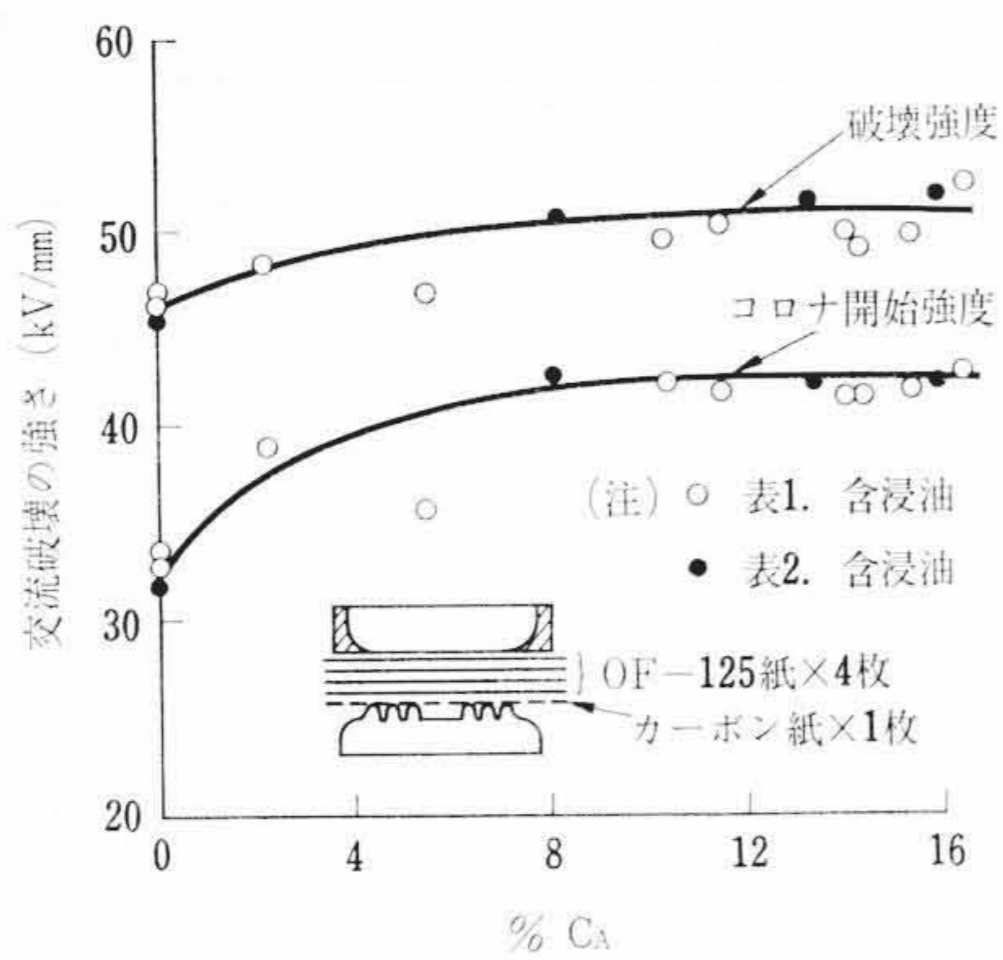
筆者が開発したモデルケーブルによる、耐コロナ試験⁽⁴⁾によるΔtan δ_cの変化率とモデルケーブルによる交流破壊電圧の関係を図示すると第6図のようになり、Δtan δ_cの減少率の大きい絶縁油ほどコロナ放電によるワックス化が起りやすいので、電界緩和作用により破壊電圧は増加する傾向にある。しかし、Δtan δ_cが-70%以下であれば、モデルケーブルの破壊電圧から考えて絶縁油の耐コロナ性は十分であろう。

3. 油浸紙の破壊特性に及ぼす精製度の異なる絶縁油の影響

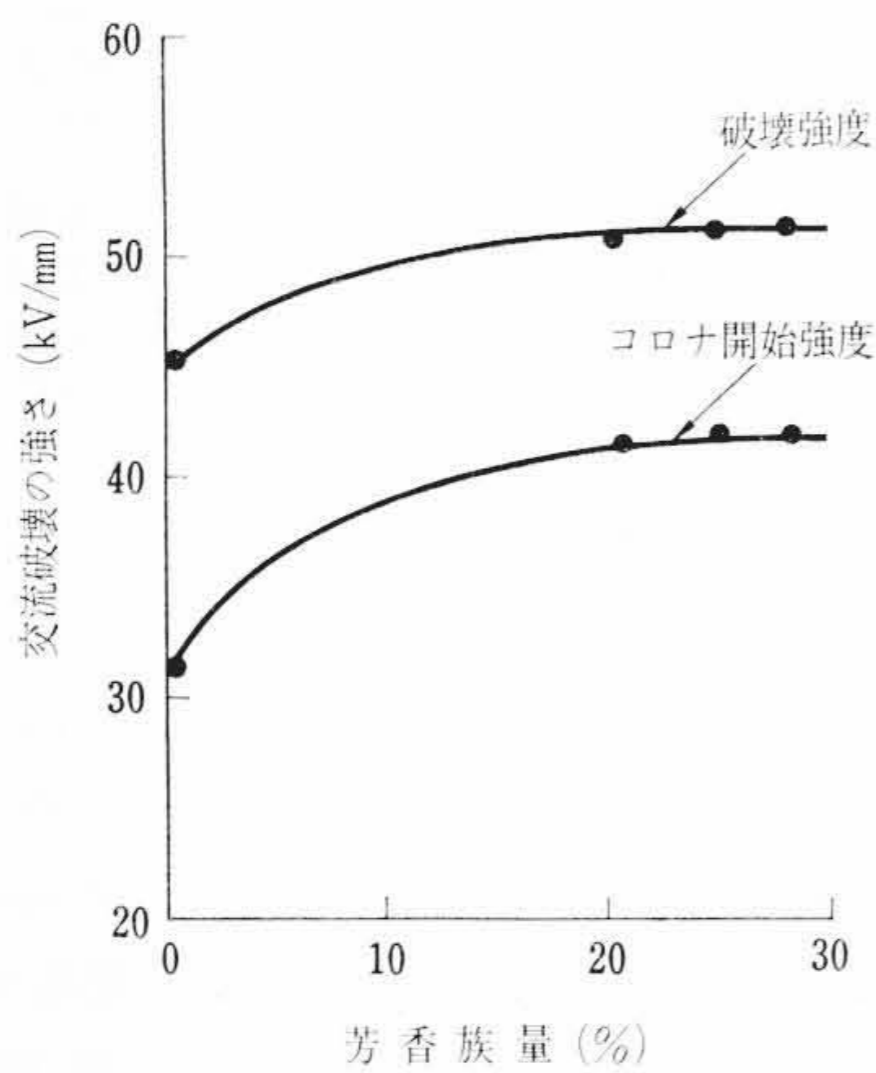
第1表に示した試料油は原油ならびに精製法が異なっているので、さらに同一原料油から精製度を変えて芳香族含有量の異なるフルフラール数0, 3, 5.5および8%の4種類を試作した。これらの諸特性は第2表に示すとおりであるが、粘度はいずれも等しい100°Fで8 csであった。比分散は99~137で、クロマト分析結果から求めた芳香族分は0.3~28%の範囲であった。また、n-d-M分析結果は%CAが0~16%で第1表より芳香族含有量の多い絶縁油を含んでいる。

この実験においては交流コロナ開始ならびに破壊強度を測定するため、平板-1 mm凸コルゲート電極を用い、コルゲート電極側に特殊高抵抗カーボン紙1枚を用いた。その他の油浸紙構成ならびに交流、インパルス破壊試験の方法は2.2に準じて行なわれた。なお実験方法が異なったので、第1表の試料油中から7種類と最近人手した100°Fの粘度が4 csの極低粘度油(試-K~L)2種類、このほか外国製OFケーブル油(試-N)1種類をあわせて第2表の含浸油とともに実験した。

含浸油の%CAおよび芳香族量と油浸紙の交流破壊強度の関係を



第7図 含浸油の%CAと油浸紙の交流破壊強度の関係 (平板-凸電極)



第8図 含浸油の芳香族量と油浸紙の交流破壊強度の関係 (平板-凸電極)

第7, 8図に表わした。またフルフラール数と交流ならびにインパルス破壊強度の関係は第9図に示すとおりである。これらの図から明らかなように、%CA=10%, フルフラール数=3%, 芳香族量=20%までは交流コロナ開始強度ならびに破壊強度は上昇し、それ以上に芳香族成分が増加しても破壊強度の上昇はあまり認められなかった。この増加率は交流コロナ開始強度が45%, 破壊強度は13%である。

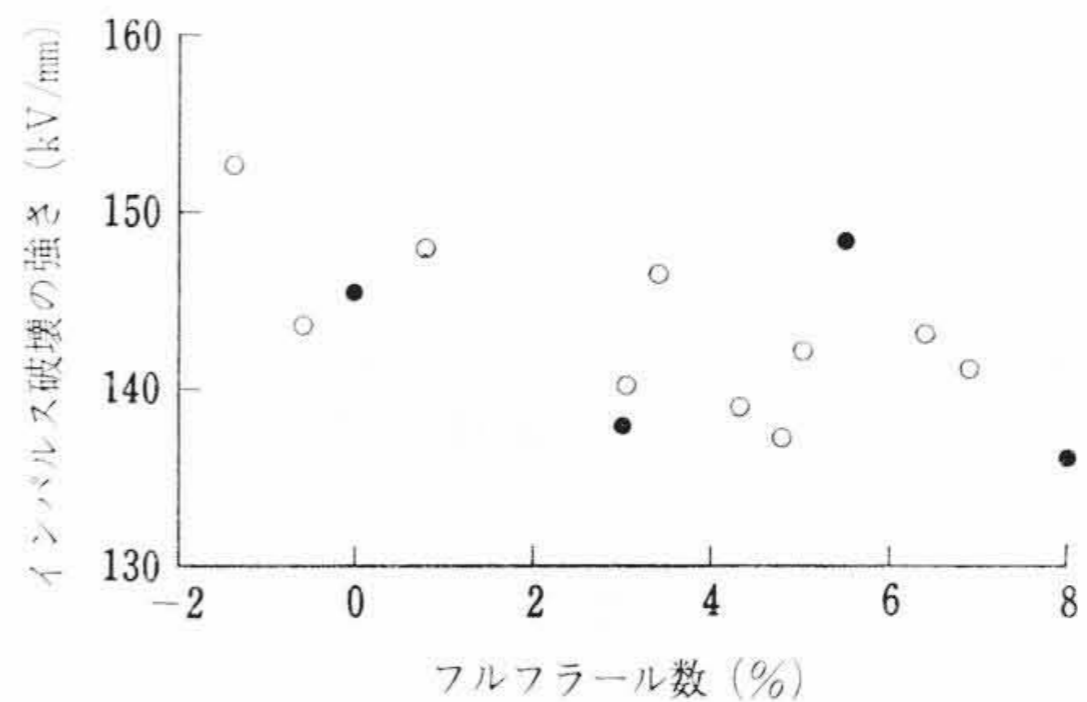
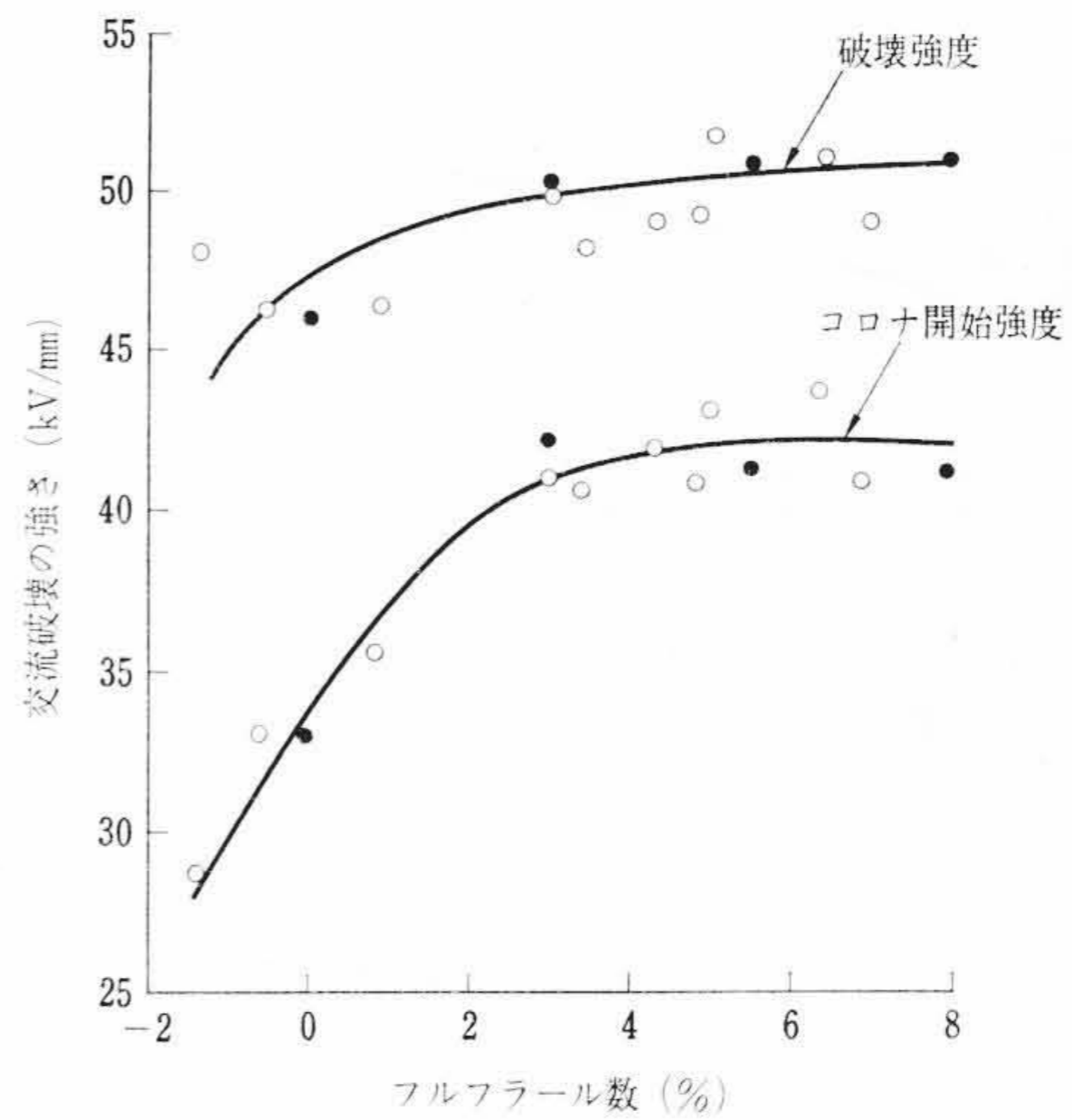
この試作絶縁油の $1,600\text{ cm}^{-1}$ 付近におけるベンゼン環の赤外線吸収スペクトルは、第10図のように、精製度を少なくしてゆくとフルフラール数が増加し、赤外線吸収は大きくなる。第10図から得られた吸光度はフルフラール数とほぼ直線関係にあるので、同一原油の際はフルフラール数と芳香族量は比例していることが知られた。したがってフルフラール数から芳香族量が定性的に求められる。

同一の原料油から得られた芳香族量の異なる含浸油を用いた油浸紙の破壊特性は、製造法または原料油の異なる含浸油を用いた場合と有意差が認められなかった。このほかに極低粘度油ならびに外国製油を使用しても交流破壊特性に差異は認められないので、芳香族量の代わりに組成関連値としてフルフラール数、%CAまたは比分散を用いて絶縁油を選択することが可能であると考えられる。

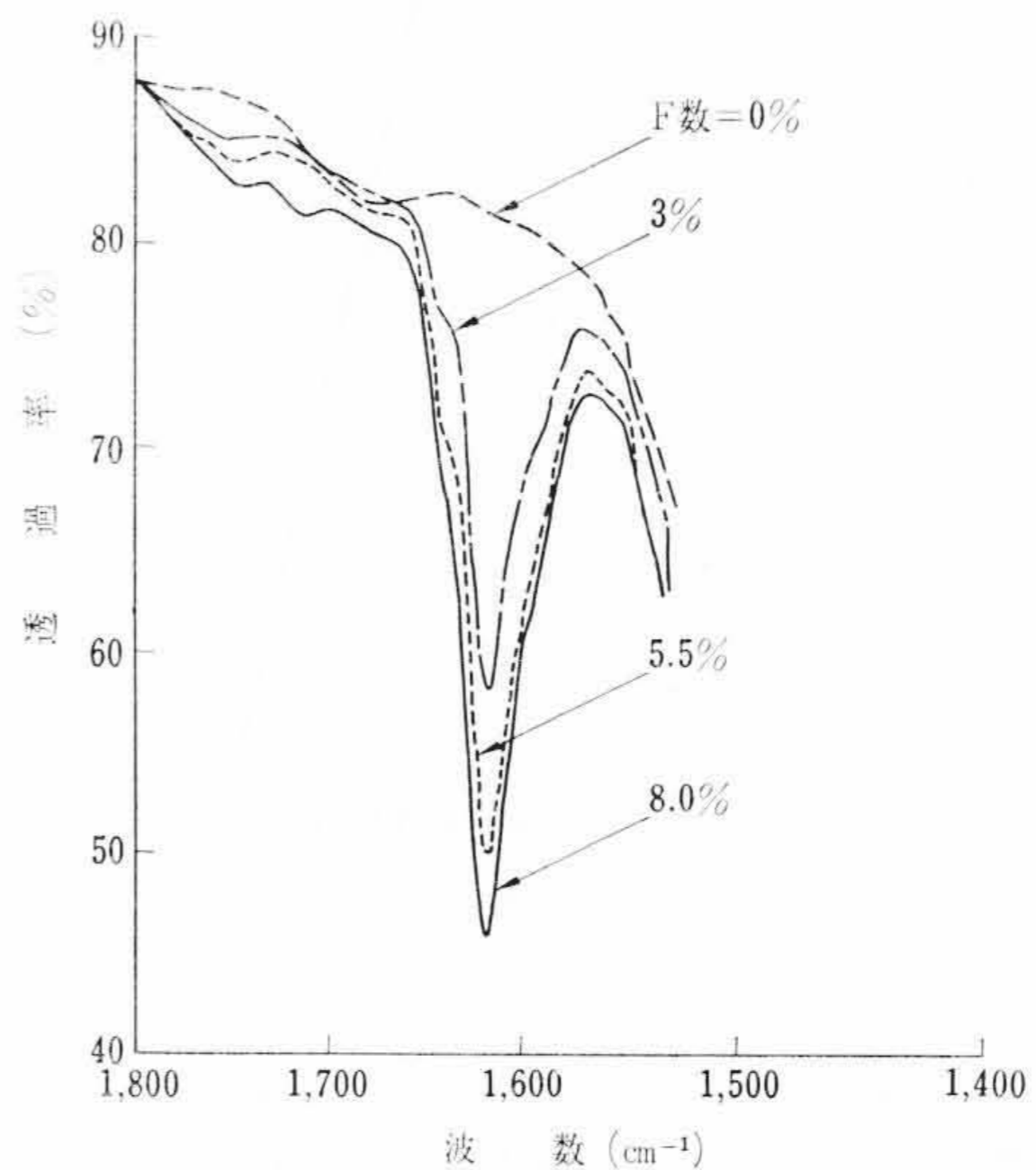
インパルス破壊強度は粘度に関係するといわれているが、第9図の結果からも粘度が高い場合は流パラでも高い値を示している。しかし破壊値の変動係数3.5%を考慮すれば、鉱油を含浸した油浸紙のインパルス破壊強度は第2図または第9図から、油の組成構造には影響しないと考えるのが妥当であろう。

4. 油浸紙の破壊特性に及ぼす添加剤入絶縁油の影響

E. D. Eich氏ら⁽⁶⁾は水素添加ポリブテンあるいは鉱油に添加剤を



第9図 含浸油のフルフラール数と油浸紙の破壊特性 (平板-凸電極)



第10図 OFケーブル油の精製度による赤外線吸収スペクトルの変化

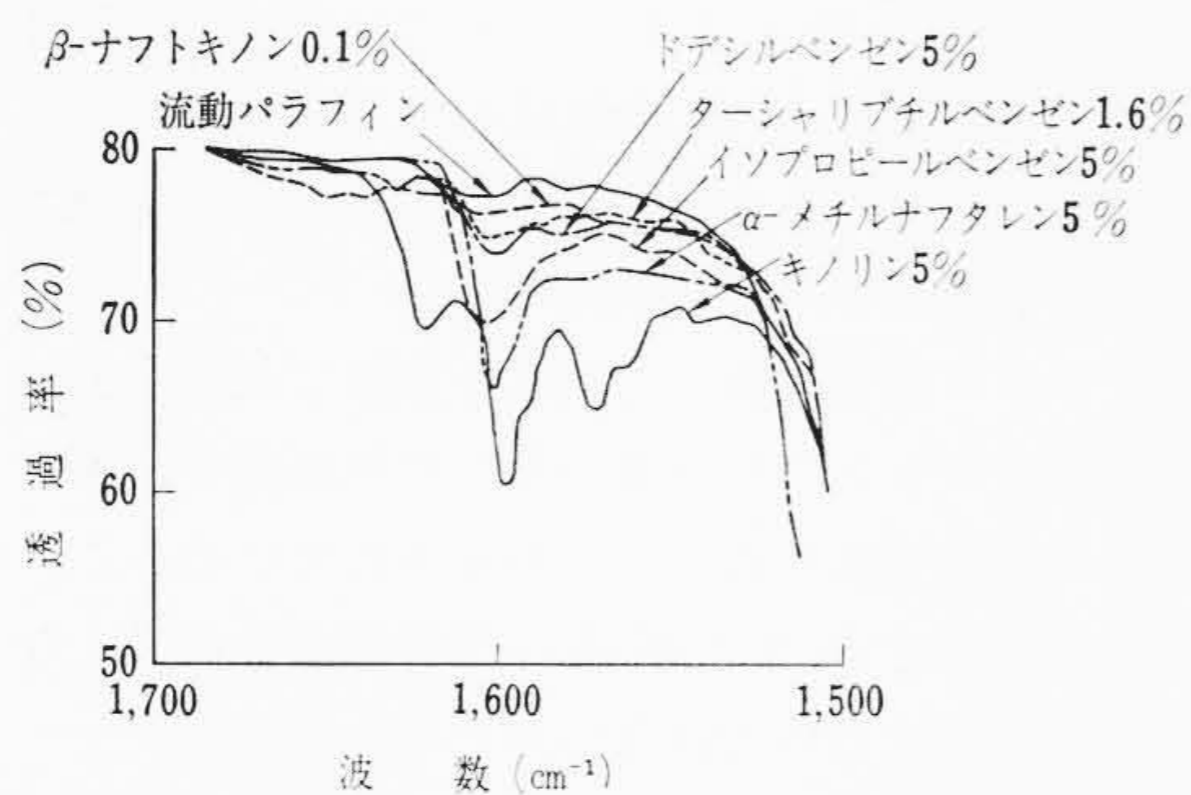
用いたガス試験を行ない、前者にはトリプロピールベンゼン10%, 後者にはドデシルベンゼン10%を添加した場合は、酸化ならびにガス吸収特性の良好となることが知られた。また、川井氏ら⁽⁷⁾はOFケーブル油にキノリン系とフェノール系を添加した油および油浸紙の破壊試験を行ない、交流短耐には効果を認められなかったが、インパルス破壊はキノリン系2%添加して12%上昇した。

高電圧ケーブル油としては、交流ならびにインパルス破壊特性を上昇させることが必要なので、6種類の添加剤につきその効果を検討した。第3表に示したように、流動パラフィンにドデシルベンゼン、キノリン、イソプロピルベンゼン、 α -メチルナフタレン各5%, ターシャルブチルベンゼン1.6%, β -ナフトキノンは固形で溶解しがたいので0.1%を添加した。キノリンあるいは β -ナフトキノンを

第3表 添加剤入油含浸紙の破壊特性

試験項目		試料油	流動パラフィン	ドデシルベンゼン 5%液	キノリン 5%液	イソプロピル ベンゼン 5%液	α-メチル ナフタレン 5%液	Test-ブチル ベンゼン 1.6%液	β-ナフト キノ ン 0.1%液
フルフラール数 (%)			0	0	1.7	2.7	1.9	1.0	0
誘電特性	劣化前	誘電正接 (%)	0.004	0.003	0.21	0.001	0.01	0.006	0.035
		体積抵抗率 (Ω-cm)	1.4×10 ¹⁶	8.0×10 ¹⁵	6.5×10 ¹²	7.0×10 ¹⁵	1.5×10 ¹⁵	4.8×10 ¹⁵	8.9×10 ¹³
	劣化後	誘電正接 (%)	10.0 以上	3.23	1.21	10.0 以上	8.6	10.0 以上	3.1
		体積抵抗率 (Ω-cm)	1.03×10 ¹¹	5.6×10 ¹¹	1.4×10 ¹²	1.4×10 ¹¹	1.9×10 ¹¹	1.5×10 ¹¹	6.0×10 ¹¹
交流コロナ開始強度 (kV/mm)			39.0 (1.28)	38.0 (1.61)	41.7 (1.05)	40.2 (0.88)	44.5 (1.97)	37.6 (2.26)	37.2 (1.05)
交流破壊強度 (kV/mm)			47.0 (2.02)	48.0 (1.31)	46.0 (0.82)	50.0 (3.09)	48.5 (1.12)	44.8 (1.17)	44.4 (1.61)
インパルス破壊強度 (kV/mm)			142.4 (6.72)	142.4 (4.73)	137.9 (5.71)	141.9 (7.4)	144.3 (6.46)	147.6 (5.81)	148.4 (7.59)

劣化試験 115°C×96h 空気中加熱
破壊試験 コルゲート対平板電極 カarbon紙あり
破壊予想値の70%より印加 交流 500V/1分 step up~BD
インパルス 3kV/3回 step up~BD



第11図 添加剤入流動パラフィン油の赤外線吸収スペクトル

添加した油は体積抵抗率が低く、誘電正接は大きかったが、その他の添加剤は誘電特性に対しいぢるしい悪影響を与えなかった。

これらの添加剤入試料油を含浸した油浸紙について、平板-1mm凸コルゲート電極を用い破壊試験を行なった。これらの添加剤入流動パラフィンのフルフラール数は第3表から明らかなように、ドデシルベンゼン、β-ナフトキノンでは流動パラフィンと等しく0%であったが、他の添加剤入は1~2.7%に増加している。添加剤を用いると芳香族量が増加することは、赤外線吸収スペクトルの波数1,600 cm⁻¹付近の透過率(第11図参照)から明らかである。すなわちフルフラール数0%のものは透過率が無添加流パラに近い特性であるが、フルフラール数の大きい場合には吸収も大きい傾向にある。

第3表の交流コロナ開始または破壊強度は、フルフラール数あるいは赤外線吸収の大きかったキノリン、イソプロピルベンゼンおよびα-メチルナフタレン5%入流パラについては若干高くなったが、破壊値の変動率3%を考慮すれば、添加剤の効果があったとはいえない。

インパルス破壊強度はターシャリブチルベンゼンあるいはβ-ナフトキノンが高い値を示したが、やはり変動率4%を考えれば、添加剤によって破壊強度が特に上昇したとは思われない。

5. ドデシルベンゼン油浸紙の破壊特性

鉱油はおもに飽和炭化水素と芳香族炭化水素の混合物であるが、誘電特性や熱安定性を改善するために行なわれる精製処理や原油の組成自体によって芳香族量はだいたい決定される。したがって絶縁油の耐コロナ性を向上させるために芳香族量の多い合成炭化水素を用いようとする考えが1960年ごろからでてきた。これらの炭化水素で商業ベースとして製造され、現在最も注目されているのは、ドデシルベンゼンスルホン酸ソーダの中間製品であるドデシルベンゼン(通称正確には数種のアルキルベンゼン混合物)である。

第4表 ドデシルベンゼンの特性

項目		試料	ドデシル ベンゼン A	ドデシル ベンゼン B	OFケー ブル油	ドデシルベンゼンB OFケーブル油 50:50混合
物理性 状	比重(20/4°C)		0.865	0.865	0.887	
	引火点(°C)		127	127	150	
	流動点(°C)		-59	-57	-50	
	膨張係数		0.00075	0.00072	0.0007	
	比分数(δ ₂₀)		135.0	128.6	120.0	
動粘度 (cs)	20°C		12.7	23.0	26.1	
	80°C		2.4	2.6	2.7	
誘電 特性	誘電率	29°C	2.30	2.27	2.20	
		80°C	2.23	2.20	2.15	
	誘電正接 (%)	29°C	0.014	0.018	<0.005	
		80°C	0.004	0.007	0.009	
抵抗率 (Ω-cm)	29°C		>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	3.0×10 ¹⁶	
	80°C		4.1×10 ¹⁶	1.1×10 ¹⁶	3.5×10 ¹⁵	
熱劣化 特性	誘電正接 (%)	0日	0.004	0.007	0.009	
		4日	0.132	0.567	0.45	
		8日	0.186	0.117	0.87	
		12日	0.445	0.184	2.81	
抵抗率 (Ω-cm)	0日	4.1×10 ¹⁶	1.1×10 ¹⁶	3.5×10 ¹⁵		
	4日	1.5×10 ¹³	3.9×10 ¹²	5.0×10 ¹²		
	8日	1.2×10 ¹³	2.1×10 ¹³	1.2×10 ¹²		
	12日	5.8×10 ¹²	1.2×10 ¹³	7.6×10 ¹¹		
破壊 特性	油浸紙の交 流破壊強 さ(kV/mm)	平均	56.4	59.4	50.1	53.8
		分散	4.4	5.4	6.2	5.8
	油浸紙のイ ンパルス 破壊強 さ(kV/mm)	平均	129.8	133.5	108.7	116.3
		分散	11.5	8.2	7.7	7.1

注(1) 115°C空気中加熱後の熱劣化特性を測定
(2) 油浸紙破壊試験試料 OF125紙×3(外側1枚に6mmφ穴あり)
(3) 平板電極使用

これら供試油として用いたイソパラフィン鎖のC₁₂またはC₁₄, C₁₄のドデシルベンゼンの諸特性を第4表に示す。引火点は鉱油より低いので低沸点留分をカットする必要がある。また比分散は128.6~135であるから鉱油系絶縁油より若干大きく、明らかに芳香族量の多いことがわかる。しかし第2表中の試-1の絶縁油は比分散が137.4であるから、ドデシルベンゼンと同程度であった。また、誘電特性と熱劣化特性はすぐれており、特に長期の酸化劣化特性がすぐれている。

ドデシルベンゼンとして、アルケンA(C₁₂)とB(C₁₂, C₁₄)の2種とOFケーブル油との混合油を含浸した油浸紙につき交流およびインパルス破壊試験を行なった。この場合の破壊試験試料はOF-125紙3枚重ね合わせ、電極に接する1枚に6mmφのオイルギャップを設け、ケーブルのレジストレーションを模擬した。測定電極には25mmφの端部補強平板電極を用い、破壊試験法は2.2に準じた。

交流とインパルス破壊強度を第4表の破壊特性に示す。表から明らかなように、ドデシルベンゼンを含浸した油浸紙の破壊強度は鉱油のそれより高い。すなわちアルケンAは鉱油に対する交流ならび

にインパルス破壊強度の上昇が、 $\alpha_a=12.2\%$ 、 $\alpha_i=19.4\%$ であり、アルケンBは $\alpha_a=18.5\%$ 、 $\alpha_i=24.8\%$ である。また、アルケンBと鉱油の等量混合油を含浸した場合は、 $\alpha_a=7.4\%$ 、 $\alpha_i=7\%$ でアルケンの効果は半分以下となる。また、炭素数の多いアルケンBは熱安定性が良く、破壊電圧が高いので、将来は鉱油にかわる合成絶縁油として有望である。

6. 結果の検討

6.1 鉱油系油浸紙の交流破壊特性

鉱油ならびにポリブテン油の化学組成と油浸紙の交流破壊強度は互いに密接な関係のあることが知られた。すなわち、化学組成として芳香族量=20%、 $\%C_A=10\%$ 、フルフラール数=3%、比分散=112以下では、交流コロナ開始強度と破壊強度は急激に低下するが、この限界値以上の化学組成ではあまり増加せず、むしろ飽和する傾向にある。

油浸紙の破壊は絶縁油が純電氣的に破壊し、後続の電子により油の分子鎖が切断して主として H_2 および紙から Co が発生する。したがって油中コロナから気中コロナに変わり油浸紙は破壊すると考えられる。一方芳香族量が増加すれば交流コロナ開始強度ならびに破壊強度は増加するが、これは芳香族環の持つエネルギー移動効果あるいは遊離基捕捉効果として説明される。すなわち芳香環は放電に対し比較的安定で励起エネルギー、イオン化エネルギーが小さいため、パラフィン鎖、シクロパラフィン環における分解エネルギーを吸収するとともに、分解してできた水素原子などの遊離基と反応して水素分子や低級炭化水素など気体となって放出されるのを防止する働きを持っている。

したがって交流電圧印加のようにゆるやかな放電が持続する場合には、芳香環の持つ保護作用がインパルスの場合より顕著に現われるものと考えられる。また、下山田氏⁽¹²⁾が鉱油をクロマトグラフィで飽和炭化水素と芳香族炭化水素に分離した試料油を含浸した油浸紙の交流破壊強度は $\%C_A=39\%$ と13.5%の場合ではほぼ等しく、筆者の結果と同様な傾向を示している。

一方鉱油の芳香族量が増加すれば、ピレリ形ガス試験法によるガス吸収量は直線的に増加し、単環芳香族より多環芳香族炭化水素はガス吸収量が大きい⁽¹¹⁾。しかし筆者がモデルケーブルによる耐コロナ試験を行なった結果は、誘電正接の変化とフルフラール数の関係で、フルフラール数の大きいところで耐コロナ性が飽和する形となっている⁽⁴⁾。したがって油浸紙の交流破壊強度は鉱油の芳香族量に比例して増加するのではなく、芳香族量の多いところで飽和するものと考えられる。

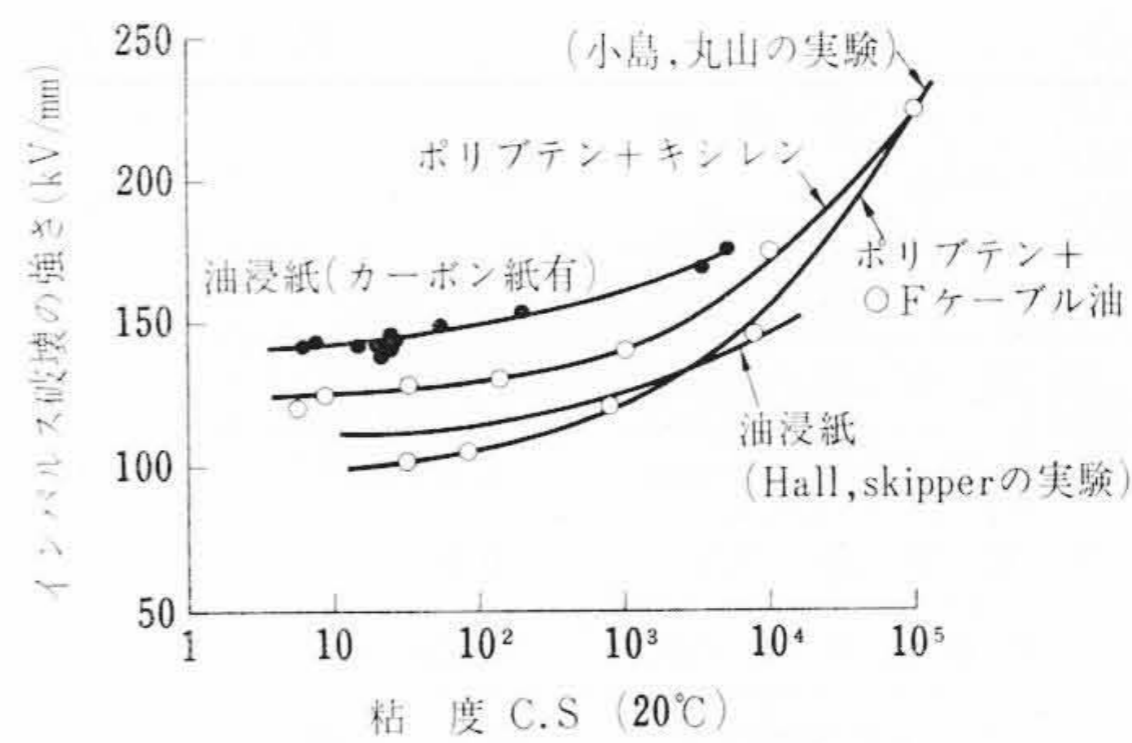
6.2 鉱油系油浸紙のインパルス破壊特性

T. J. Lewis氏⁽¹³⁾は液体炭化水素の絶縁破壊強度を電子的な機構から説明し(1)式を提出した。

$$F = K N_0 \sum n_i \theta_i \dots\dots\dots (1)$$

- ここで、 F ：液体の絶縁破壊強度
- K ：条件によって変わる常数
- N_0 ：単位体積中の分子数
- θ_i ：分子中の原子団 i が持つ振動レベルの励起を起す断面積
- n_i ：分子中の原子団 i の数

このような考え方によれば、液体炭化水素の破壊強度はイソパラフィン<ノルマルパラフィン<アルキルベンゼンの順に大きくなる。また、固体炭化水素の絶縁破壊ではポリエチレンよりポリスチレンのほうが大きい。これは分岐となって存在する芳香環はインパルス破壊強度を増大させると考えられる。しかし本実験の油浸紙での測定結果によれば、油の芳香族成分を大幅に変えても、インパル



第12図 絶縁油の粘度と油浸紙インパルス破壊強度の関係 (平版一凸電極)

ス破壊強度は変化せず粘度による増大作用が認められた。

絶縁油の粘度と油浸紙のインパルス破壊強度は第12図のようになり、含浸油の粘度が増大するにつれて油浸紙の破壊強度は高くなる。筆者の測定結果とH. C. Hall氏⁽⁹⁾の油浸紙のインパルス破壊強度は、測定法が異なるため絶対値は異なるが、その傾向はまったく一致している。しかし小島氏⁽¹⁴⁾はポリブテンにキシレンあるいはOFケーブル油を混合して粘度を調整した混合油のインパルス破壊強度は、キシレンの混合量が多い低粘度部分でOFケーブル油の混合油より破壊強度の高いことが示されている。これはキシレンの添加により鉱油と異なる構造の芳香族成分が多くなったために、破壊強度が上昇したのではないかと考えられる。

しかしH. C. Hall氏⁽⁹⁾、P. G. Priarozzia氏⁽¹⁵⁾ならびにB. Salvage氏⁽¹⁶⁾が炭化水素系鉱油を含浸した油浸紙のインパルス破壊強度は、絶縁油の粘度のみに依存し測定温度および含浸油の種類にあまり関係しないとしている。さらにJ. C. de Vos氏⁽¹⁷⁾はOFケーブル油、ヒマシ油、流動パラフィンならびにソリッドケーブル油を含浸したプラスチックOFケーブルにおいても、インパルス破壊強度は化学組成よりも粘度によって決まるといわれている。油の粘度が増すということは分子量が大きくなることであり、(1)式における θ_i が増大するからインパルス破壊強度が増すものと考えられる。

6.3 添加剤入鉱油ならびにドデシルベンゼン油浸紙の破壊特性

流動パラフィンに種々の添加剤を数%混入した場合は、破壊特性の改善があまり顕著でなかった。これは鉱油の適正芳香族成分に比べて、その含有量が少なかったためであろう。本実験は平等電界での破壊試験であるから、不平等電界ではこの程度でも破壊強度が増大するのでないかと思われる。E. D. Eich氏⁽⁸⁾は鉱油にドデシルベンゼン10%を添加した場合にガス吸収特性が良好になると称しているが、破壊特性を改善するには多量を加える必要がある。

次にドデシルベンゼンを単独含浸した場合は、鉱油に対し交流やインパルス破壊強度が12~25%上昇している(第4表参照)。これは鉱油と芳香族の構造が異なる長鎖のアルキルベンゼンであること、また合成油のため鉱油のような破壊電圧に影響するO, N, Sなどの不純物が存在しないため交流ならびにインパルス破壊強度が鉱油より高いのでなかろうか。なお合成油の化学構造と破壊特性については今後さらに実験を行ない、鉱油との差異を明らかにしたい。

7. 結 言

化学組成の異なる絶縁油を含浸した油浸紙の破壊特性を測定し、得られた結果を要約すると

- (1) 油浸紙の交流コロナ開始ならびに破壊強度は、絶縁油の組成関連値としてフルフラール数=3%、比分散=112、 $\%C_A=10\%$ 、芳香族量=20%までは上昇するが、それ以上芳香族成分が増加しても破壊特性はあまり変わらなかった。

- (2) 鉱油系の絶縁油を含浸した油浸紙のインパルス破壊強度は粘度に依存し、芳香族成分には影響することが少ない。
- (3) 超高電圧ケーブル絶縁油としては、熱劣化特性あるいは交流破壊特性から芳香族成分の範囲が制約されるので、組成関連値としては、フルフラール数=3.5~6%、比分散=112~125、%C_A=10~17%、芳香族量=20~26%が適当である。インパルス破壊強度を上昇させるには粘度を高くする必要があり、OFケーブル油の粘度範囲では破壊特性に影響しない。
- (4) 流動パラフィンに種々の添加剤を5%以下加えて実験した場合の油浸紙の破壊特性は、添加剤による効果が認められなかった。ただしα-メチルナフタレンあるいはイソプロピルベンゼンの添加量を10~15%にすれば、飽和成分の油に対し交流破壊特性を改善できる見込みがある。
- (5) 合成油ドデシルベンゼンは熱劣化特性がすぐれており、また鉱油を含浸した油浸紙に比較して交流やインパルス破壊強度は12~25%高い。

終わりに試料を提供された各製油会社、ご指導を賜った日立電線日高工場研究部山本部長、下山田前主任研究員ならびに助言を賜った佐藤氏に感謝の意を表わす。

参 考 文 献

- (1) C. S. Schoepfle, L. H. Connell: I. E. C., 21, 529 (1929)
- (2) G. H. Beaven, J. A. Cockburn, C. H. Thompson: J. I. P., 35, 735 (1949)
- (3) T. Wörner: E. T. Z-A, 72, 656 (1951)
- (4) 佐藤, 下山田, 安田: 電学東京支大, 89 (昭 33-10)
- (5) 電気絶縁材料研究会: 絶縁油部会技術資料 No. 6 (昭 40-2)
- (6) 柴田, 川井: 電学誌, 73, 827 (昭 28-8)
- (7) 川井, 柴田, 増田, 吉田: 電学東京支大, 102 (昭 35-11)
- (8) E. D. Eich, G. Feick, W. F. Olds: A. I. E. E., Winter General Meeting, New York, January (31-Feb. 1960)
- (9) H. C. Hall, D. J. Skipper: P. I. E. E., Part-A, 103, 571 (1956)
- (10) G. Földiak: Acta, Chim, Acad, Sci Hung., 31, 67 (1962)
- (11) 山田, 藤田: 電四連大, 502 (昭 35-7)
- (12) 下山田, 佐藤: 電学東京支部大, 101 (昭 39-10)
- (13) T. J. Lewis: J. App Phys. 27, 645 (1956)
- (14) 小島, 丸山: 電四連大, 368 (昭 37-4)
- (15) P. G. Priarozzia, G. Palandri: A. I. E. E., Trans 74, 1343 (1956)
- (16) B. Salvage, J. A. M. Gibbons: P. I. E. E., Part-A, 107, 405 (1960)
- (17) J. C. devos, J. Vermeer: CIGRE Report No. 226 (1960)



新 案 の 紹 介



登録新案 第733906号

安 保 勝 夫

ロ ー タ 回 転 装 置 の 安 全 装 置

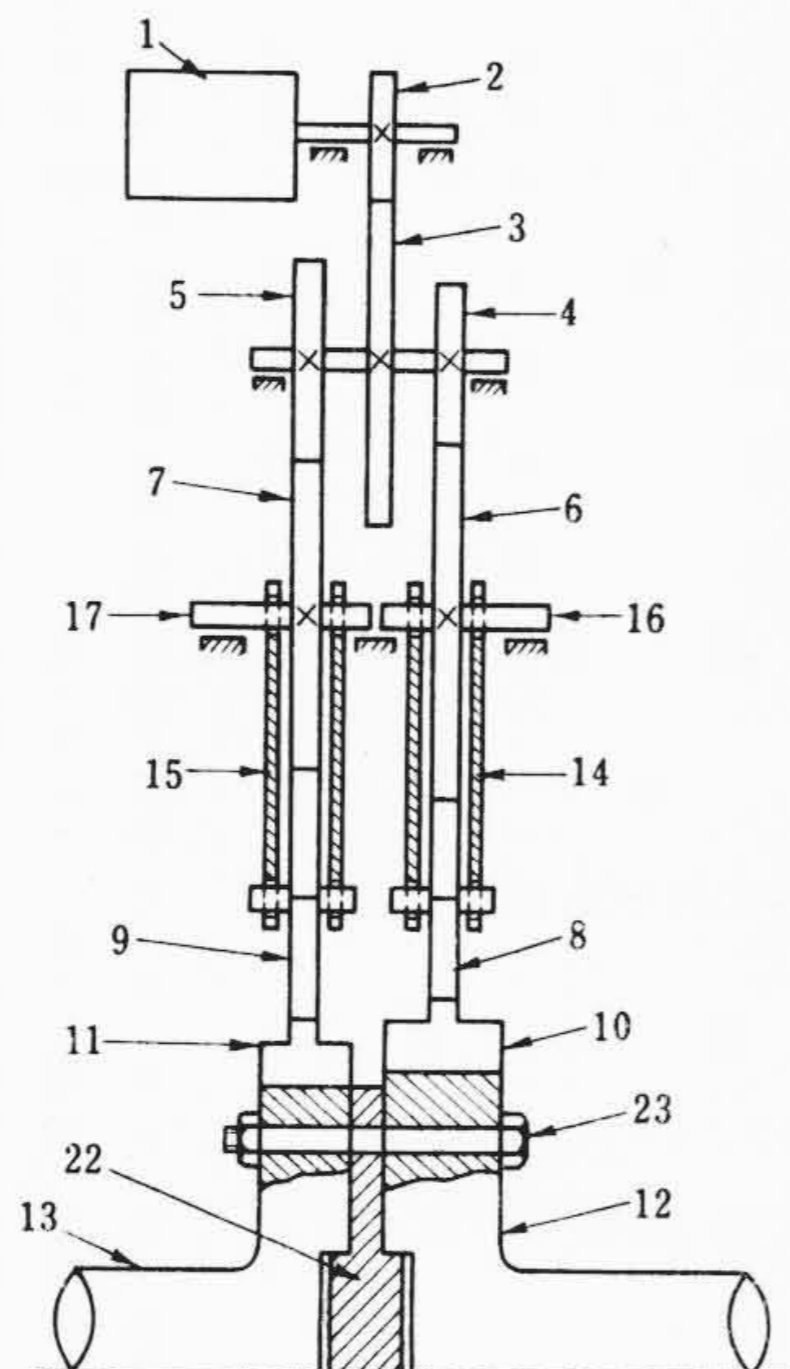
この考案は、蒸気タービン主機の暖機用回転装置と、タービン発電機単独起動に使用される回転装置を、1台の原動機でもって駆動し得るようにしたロータ回転装置の安全装置に関するものである。

このように、1台の原動機1でもって一連の歯車2,3……11を介してタービン主機ロータ12および発電機ロータ13を回転せしめ得る構成にあっては、両ロータ直結運転の場合、両方のロータに回転装置の伝導歯車が同時に係合することは歯車噛合伝導機構上避けなければならない。

この考案は上述の同時係合が生じて自動的により一方の噛合いがはずれるようにしたものである。

いま2,3……11の各歯数をそれぞれZ₂, Z₃……Z₁₁とし、原動機1の回転数n₁とすれば、ロータ12の回転数n₁₂は、

$$n_{12} = \frac{Z_2}{Z_3} \times \frac{Z_4}{Z_{10}} \times n_1$$



第 1 図

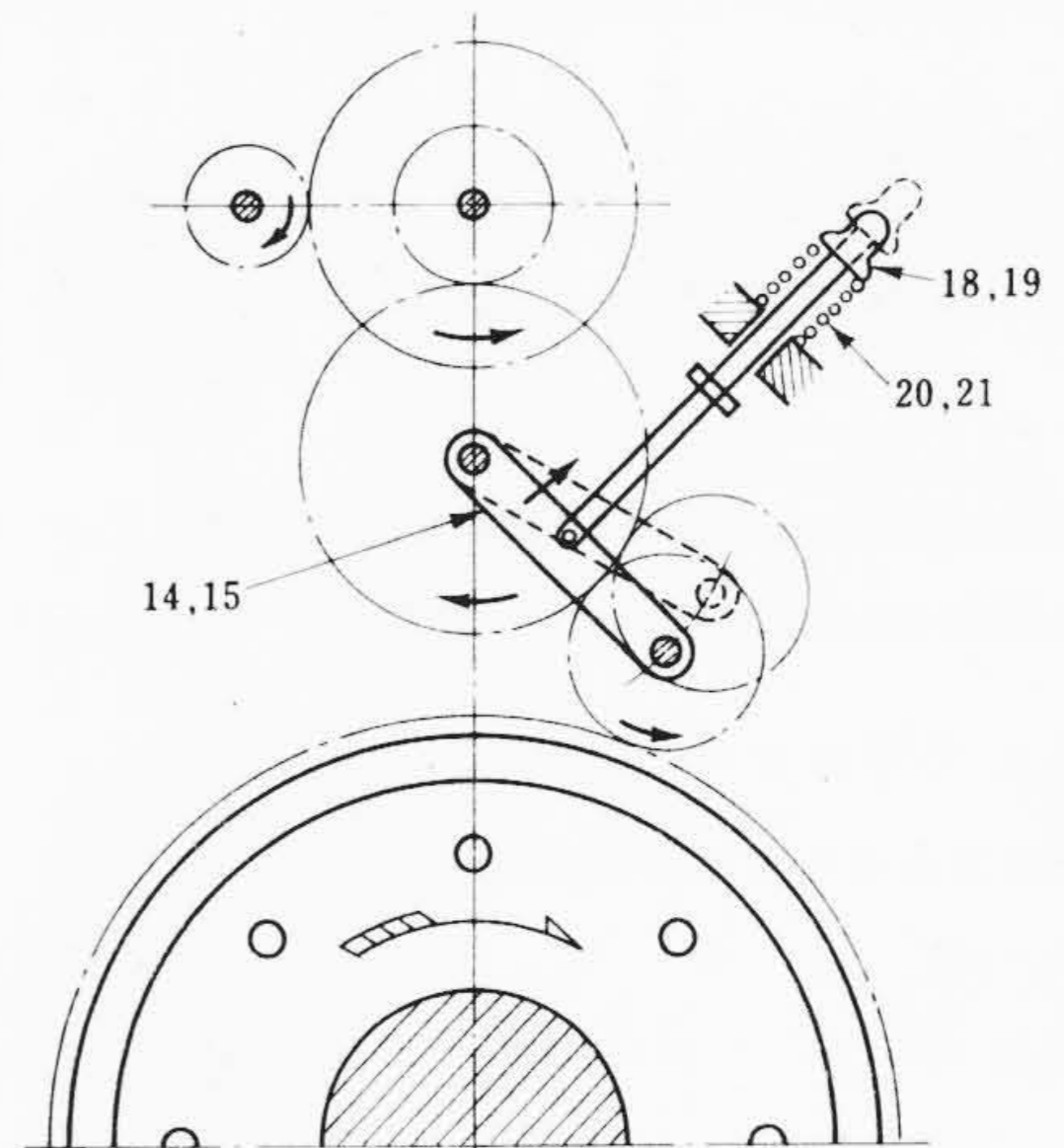
またロータ13の回転数n₁₃は、

$$n_{13} = \frac{Z_2}{Z_3} \times \frac{Z_5}{Z_{11}} \times n_1$$

となる。ここでこの考案においては、各歯車の歯数はたとえばZ₄<Z₅, Z₁₀>Z₁₁に形成されているため、歯車8と9の周速度は異なり必然的にn₁₂<n₁₃とならざるを得ない。しかし両ロータ直結運転の場合にはn₁₂=n₁₃であって上述のごとき関係は成立しない。

したがって普通の歯車伝達機構であれば運転不能に陥るものであるが、この考案のように各ロータに駆動力を伝達する歯車8および9が枢軸16および17に枢着されたリンク14,15により遊星歯車機構を形成しているため、誤操作などにより両側の歯車が同時にいったん係合しても、一方の歯車すなわちロータの回転数よりも小さい回転数側の歯車は押し戻され、歯車6あるいは7の回りを駆動力が消滅するまでスプリング20あるいは21を伸長して逃げるものである。

かくして誤操作などにより両側の歯車が同時に作用しても歯車噛合伝動機構中になんら支障を起こすことがない。(山元)



第 2 図



最近登録された日立製作所の特許

特許番号	名 称	氏 名	特許登録日	特許番号	名 称	氏 名	特許登録日
423610	ダイヤル数字の二進変換方式	児玉 正 憲 道家 浩太 郎	39. 4. 17	423639	トランジスタ電動機	大西 和 夫 宮本 地 也 福地 松 毅 小松 地 毅 福小 地 毅 小松 地 毅	39. 4. 17
423611	10進-2進変換装置	関 進	"	423640	洗 濯 装 置	大宮 和 夫 福小 地 也 福小 地 毅	"
423612	多端局連接搬送装置	藤 康 工田 秋 雄	"	423641	洗 濯 機	福小 地 毅 福小 地 毅	"
423613	三相漏洩変圧器	坂 部 明	"	423642	巻線型誘導電動機	福小 地 毅	"
423614	スコット結線変圧器の負荷時電圧調整装置	島 山 尚	"	423643	高精度低周波特性測定法	奈 良 明 森 山 寛 徳 川 勝 文 井 上 吉 松 島 定 越前 谷 田 清 宮 橋 本 健 橋 田 中 太 越前 橋 本 清 池 上 和 一	"
423615	負荷時タップ切換装置	中 川 清	"	423644	粒子加速装置	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423616	信号判別方式	井立 義 春	"	423645	電気集塵器	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423617	電子ビーム集束装置	金竹 子 夫 本 猛 俊	"	423646	液体を集塵極とした電気集塵器	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423618	ホ イ ス ト	堀 永 昭	"	423647	電気集塵器	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423619	溶接用変圧器	坂 部 昭	"	423648	無接点電動機	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423620	車輛用変圧器のタップ切換装置	三 浦 明	"	423649	無接点電動機	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423621	多数共同電話装置における秘話個別呼出方式	藤 岡 旭	"	423650	磁気抵抗効果素子を用いた無接点電動機	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423622	原子炉における放射性物質搬送装置	逸 見 文 彦 和 世 啓 三	"	424961	鋳型製造方法	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423623	多数共同電話装置における個別呼出方式	藤 岡 旭	"	424962	立形往復動軸の液切り装置	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423624	試料入出用装置	藤 岡 道 夫	"	424963	軸受潤滑油箱	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423625	三相誘導電動機	上 村 民 純	"	424964	物品分類記憶装置における表示灯装置	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423626	電動機コイルエンド外周整形機	甲 本 幸 男 松 田 幸 次 郎	"	424965	起重機の自動減速制御装置	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423627	電動機コイルエンド内周整形機	甲 本 幸 男 松 田 幸 次 郎	"	424966	トランジスター電磁応動装置	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423628	アーマチュア用自動巻線機	松 田 幸 次 郎	"	424967	絶 縁 電 線	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423629	発電機界磁線輪製作方法	松 田 幸 次 郎	"	424968	絶 縁 電 線	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423630	洗 濯 装 置	外 野 森 一 孝	"	424969	半導体素子製作用治具	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423631	リアクトルの誘導試験法	田 村 幸 男	"	424970	高出力速度変調管	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423632	放射性同位元素貯蔵装置	小 真 流 和 徳	"	424971	水分解ガス再結合装置を備えた沸騰水型原子炉圧力容器	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423633	二方向性珪素鋼板を使用した誘導電動機固定子鉄心	本 宮 公 裕	"	424972	水冷却原子炉汎用熱交換器	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423634	二方向性珪素鋼板を使用した単相誘導電動機固定子鉄心	園 山 裕	"	424973	微小信号回路の雑音除去装置	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423635	密閉型開閉装置	森 山 寛 美 山 利 寛 美	"	424974	電話交換におけるトレーン識別方式	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423636	密閉型開閉装置	森 山 恒 寛 美 山 恒 寛 美	"	424975	アナログ-デジタル変換器	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423637	密閉型開閉装置	森 山 恒 寛 美 山 恒 寛 美	"	424976	蒸気タービン運転方法	市 川 忠 男 池 上 和 一	"
423638	高電圧パルス状荷電粒子源装置	松 武 康 功	"				

最近登録された日立製作所の実用新案

登録番号	名 称	氏 名	登録年月日	登録番号	名 称	氏 名	登録年月日
587631	バイト刃先R研削用芯出ゲージ	近 江 久 行	39. 4. 21	588138	磁器封止電子管	中 田 九 州 男	39. 6. 4
587641	自動電話交換機用上昇回転スイッチのノーマルプラケット	菊 地 誠 勉	"	588139	グラフパケット制御装置	大 和 利 丸	"
587809	自動平衡計器における二相電動機駆動装置	阿 部 善 衛 門 沼 倉 俊 郎	39. 5. 8	588247	ピンボードプログラマ	大 和 利 丸	39. 6. 22
587810	ローラー型接触子	榎 本 勝 雄	"	588248	放射線絞り装置	小 林 長 平	"
587811	自動平衡型多点式PH記録計	榎 本 勝 雄	"	588249	開 閉 装 置	小 林 長 平	"
587812	放射線量を測定する試料の調整装置	細 谷 美 徹	"	588250	開 閉 装 置	森 露 寛 美	"
588001	鉄道車輛の駆動力伝達装置	中 五 十 嵐 村 美 弘 高 橋 忠 太 油 井 野 兄 朝 陽	39. 5. 26	588251	開 閉 装 置	森 露 寛 美	39. 6. 29
588002	テーブリーダーにおけるテープのスタートおよびストップ装置	井立 義 春	"	735491	音 質 表 示 装 置	直 藤 利 藤 之 忠	39. 4. 3
588003	電話交換機及び通信機器等の輸送用補強具	林 吉 一 雄 夫	"	735492	分 岐 管	栗 田 須 田 正 惠	"
588004	傘歯車研削装置における歯当り試験装置	松 本 源 次 郎 石 岡 山 元 三	"	735493	電解研削盤における薬品供給装置	近 水 鈴 久 行	"
588120	電圧増幅装置の光導電体層	及 川 充 博	39. 6. 4	735494	溢流型蒸発器	大 米 谷 盛 信	"
588134	標 示 装 置	高 村 一 師 博	"	735495	半導体整流器のジャンクション温度測定装置	大 米 谷 盛 信	"
588135	車両用台車の無摺動軸箱支持装置	村 永 大 三	"	735496	変圧器の過負荷表示装置	松 土 盛 武 本	"
588136	真空室排気装置	大 三 長 直 土 油	"	735497	管	村 屋 武 本 正	"
588137	自動コントラスト調整回路	大 三 長 直 土 油	"				