

多環油入変圧器の開発

Development of Filled-up Polycyclic Hydrocarbon Oil Transformer

三 好 昭*
Akira Miyoshi

長 岡 外美男*
Tomio Nagaoka

三 木 次 郎*
Jirô Miki

要 旨

配電用変圧器の信頼性の向上、保守点検の簡略化および小形軽量化を図るため絶縁油を従来の鉱油から多環油に代え、これと既存のシアノエチル化紙、PVF線を組み合わせて多環油入変圧器を製作した。本器は従来品と同様の温度上昇(65 deg)で使用する場合は絶縁油がB種の耐熱性を有し酸、スラッジが生成しにくい。シアノエチル化紙、PVF線の劣化防止効果があるので信頼性が向上し、保守点検も簡略化される。B種(温度上昇75 deg)変圧器にすると三相100 kVA、50 Hz品で重量、容積、油量をそれぞれ88%、78%、55%に小形軽量化することができる。また多環油は絶縁破壊強度が鉱油より高いので絶縁性能も向上する。

1. 緒 言

配電方式の合理化、供給信頼度の向上が重要な課題となっているが、配電用変圧器においても、信頼性の向上、保守点検の簡略化および小形軽量化は常に留意すべき事柄であり、過密化の進んだ都市部においてはなおさらである。

これらの点に対処するためには変圧器の主要絶縁材料である絶縁油、絶縁紙の性能向上が必要である。そこで絶縁油としてB種の耐熱性を有し、絶縁破壊強度(絶縁油と油浸紙)、スラッジの生成、ガス吸収性などが鉱油系絶縁油(以下鉱油という)よりすぐれ、しかもシアノエチル化紙、PVF線の熱劣化抑止効果を有する多環炭化水素系絶縁油(以下多環油という)とシアノエチル化紙、PVF線などの既存材料を組み合わせることにより所期の目的を達成することができた。

本報はこれら技術的問題点の検討結果とそれに基づいて製作したB種多環油入変圧器について述べる。

2. 多環油選定理由

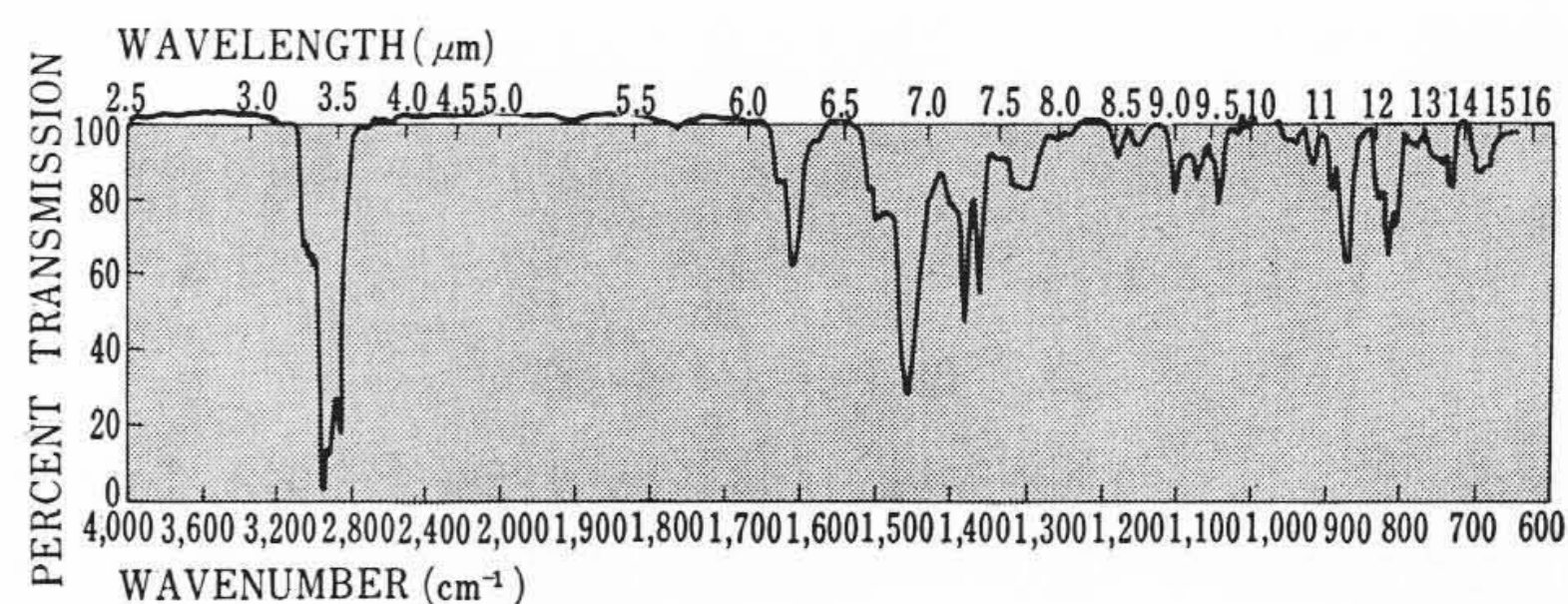
従来の鉱油の代表的なものをn-d-M法によって構造解析をしてみるとパラフィン系炭素63.5%、ナフテン系炭素20.4%、芳香族系炭素16.1%となっている。これら成分のうち熱的に弱い部分はパラフィン系炭化水素であるからこの含有率の少ない絶縁油ができれば絶縁油の熱安定性は向上する。一方油入変圧器における絶縁紙の劣化は絶縁油の劣化生成物で促進される傾向があるから熱劣化しにくい耐熱性のすぐれた絶縁油中で使用すれば絶縁紙の耐熱性は向上するはずである。そこでこのような性能を有する絶縁油の検討を開始したところ呉羽化学工業株式会社が環状化合物に富んだタールを副生する原油直接分解法が検討されていることを知った。そこでタール状物質から耐熱性に富んだ変圧器用絶縁油を得るため呉羽化学工業株式会社と共同研究を行ない、所期の目的を達成することができた。

本絶縁油はn-d-M法によるとパラフィン系炭素25.0%、ナフテン系炭素39.5%、芳香族系炭素35.5%の組成を有しており鉱油よりパラフィン系炭素が非常に少ない⁽¹⁾。図1は多環油、鉱油の赤外吸収スペクトルであるが、鉱油に比べ1,600 cm⁻¹のベンゼン環面内振動の吸収、650~950 cm⁻¹間のベンゼン環辺結合に基づく吸収が大きい。このことから多環油は鉱油よりパラフィン系炭化水素の少ないことがわかる。

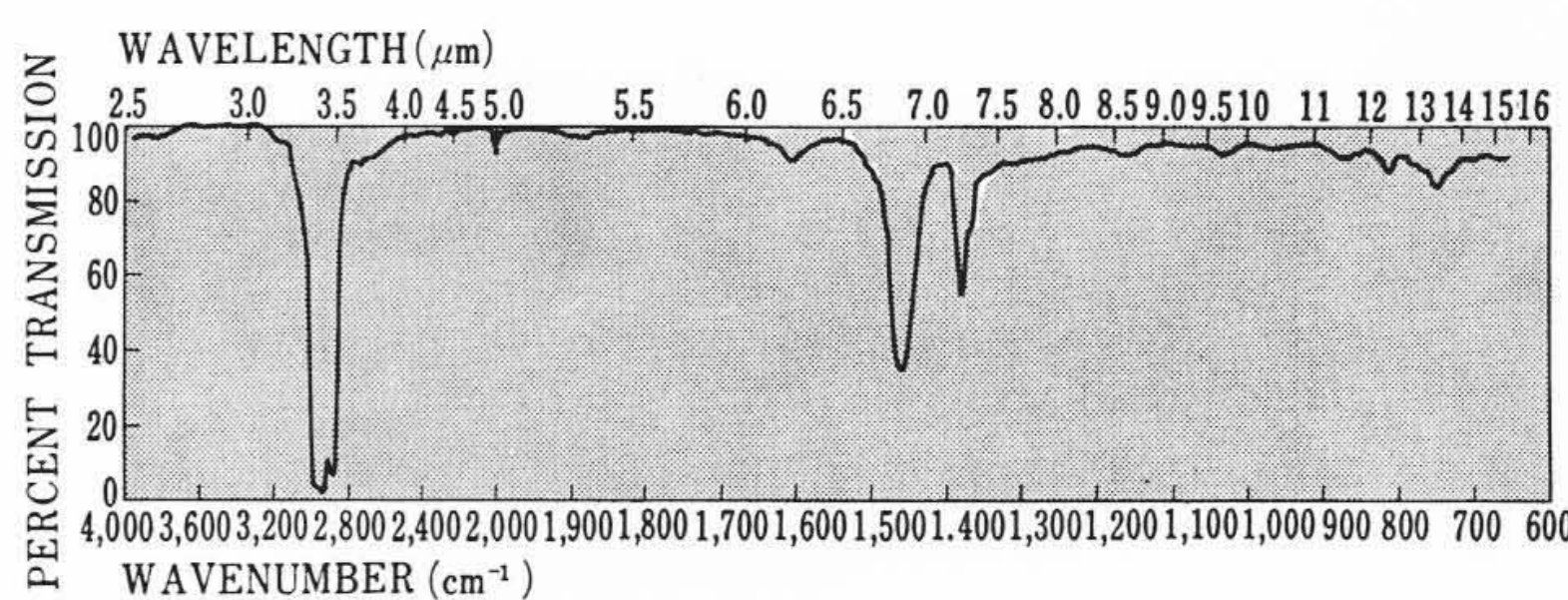
3. 多環油の特性

変圧器用多環油の一般特性は表1に、酸化安定性は図2⁽²⁾に、ガス

* 日立製作所亀戸工場



(a) 多環油の赤外吸収スペクトル



(b) 鉱油の赤外吸収スペクトル

図1 多環油と鉱油の赤外吸収スペクトル

吸収性は図3⁽²⁾に、絶縁破壊特性の含有水分による変化は図4に、油浸紙の絶縁破壊特性は図5⁽³⁾に示すとおりである。これから次のことがいえる。

- (1) 多環油は鉱油より引火点が30℃高く(表1)、鉱油より30℃高温で使用しても酸、スラッジの生成は少ない(図2)。したがって鉱油と同一温度で使用する場合は機器の信頼性が向上し保守点検も簡略化することができる。さらにB種絶縁油としても使用できる。
- (2) 多環油のガス吸収性は鉱油より大きい。これは油中放電による分解ガスが発生しても、ボイドとなりにくいので絶縁上好ましい。
- (3) 多環油の絶縁破壊特性は鉱油より高い。その傾向は含有水分の増加とともに顕著になる(図4)。充電部の絶縁を構成する油浸紙の絶縁破壊強度も多環油含浸紙のほうが平均値で約30%高い。したがって多環油を使用すれば製品の絶縁性能が向上する。また配電電圧が高圧化した場合、これは適した絶縁油とも考えられる。多環油の性能(表1)は絶縁油としての一般特性を満足している。ただし、変圧器構成材料に及ぼす影響については後述する。

4. 多環油の絶縁紙に及ぼす影響

絶縁紙の劣化は先に述べたように絶縁油の劣化生成物に影響される傾向がある。そこで現用の鉱油より熱安定性にすぐれ酸、スラッ

表1 多環油の一般特性

項 目	絶縁油の種類	
	多環油	鉱油
比重 (15/4℃)	0.9945	0.8749
粘度 (cst)	30℃	15.0
	75℃	4.0
引火点 (PM, °C)	166	136
流動点 (°C)	-25.0	-30.0
蒸発量 (%)	0.058	0.120
全酸価 (mg KOH/g)	0.002	0.003
硫黄(いおう)分 (ppm)	15	4,700
色 相 (ユニオン)	1(-)	1(-)
$\tan \delta$ (% at 80℃)	0.05	0.02
ϵ (at 80℃)	2.41	2.19
ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$, at 80℃)	5.0×10^{14}	3.0×10^{14}

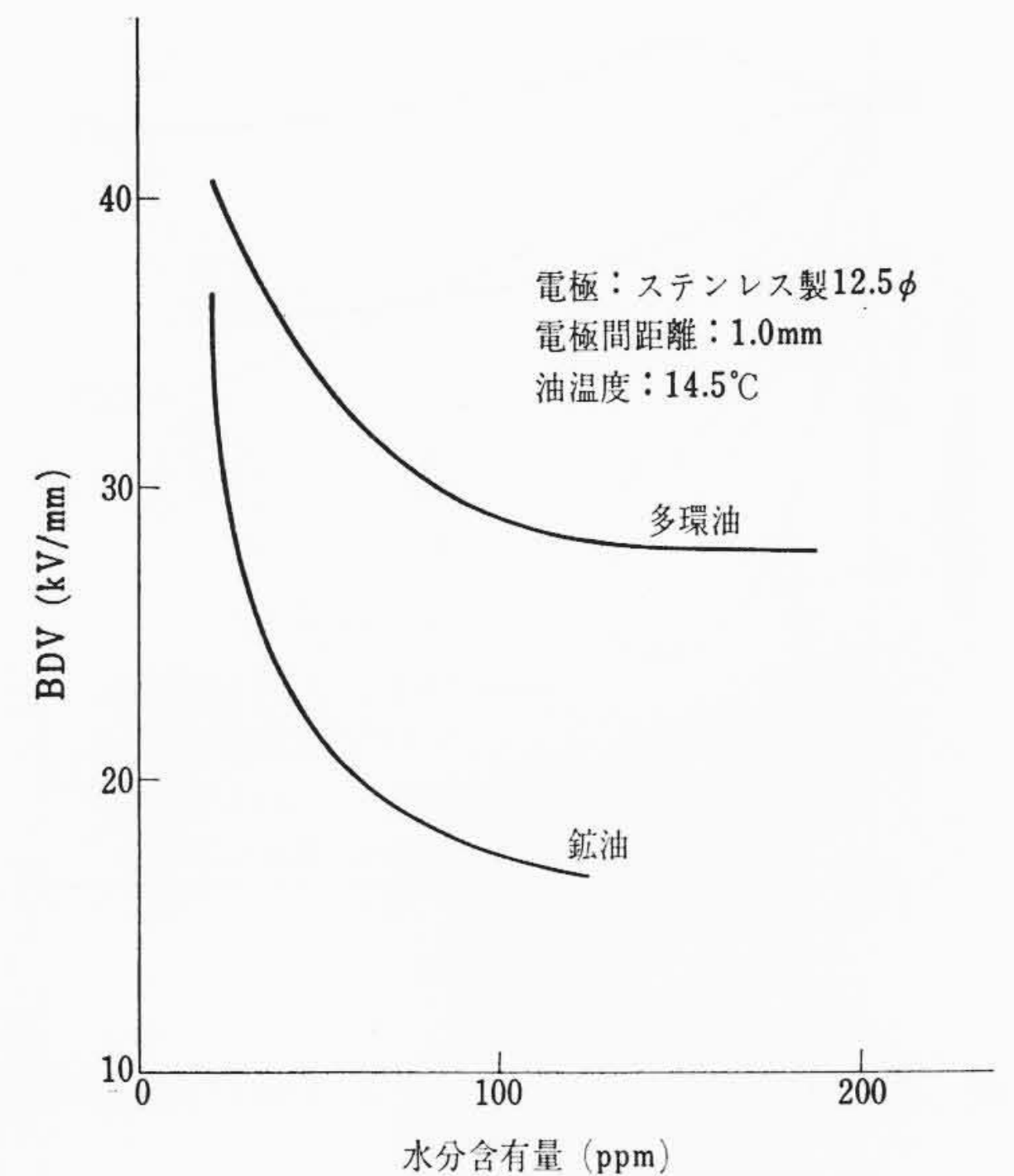


図4 多環油の絶縁破壊強度の含有水分による変化

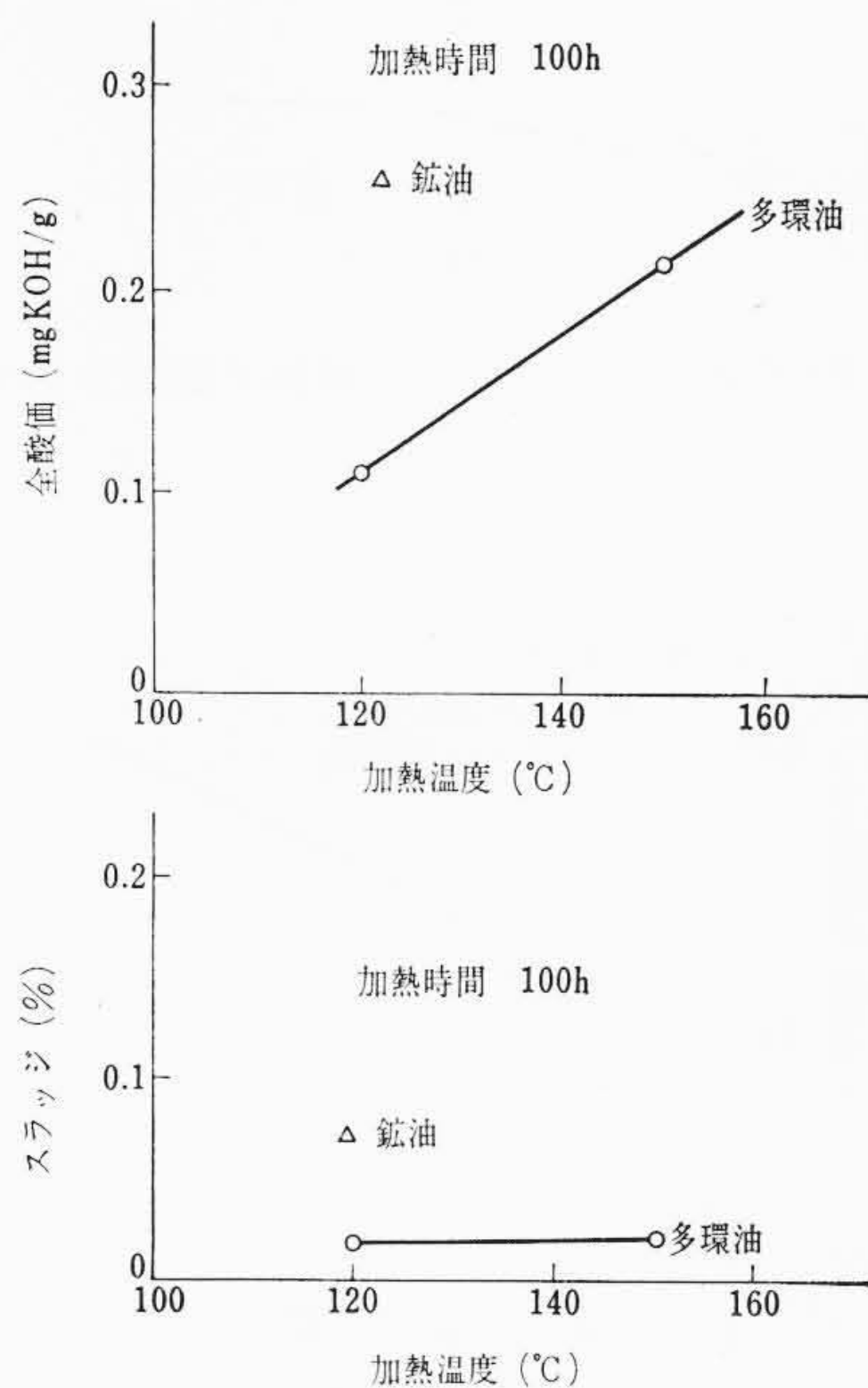


図2 多環油の酸化安定性

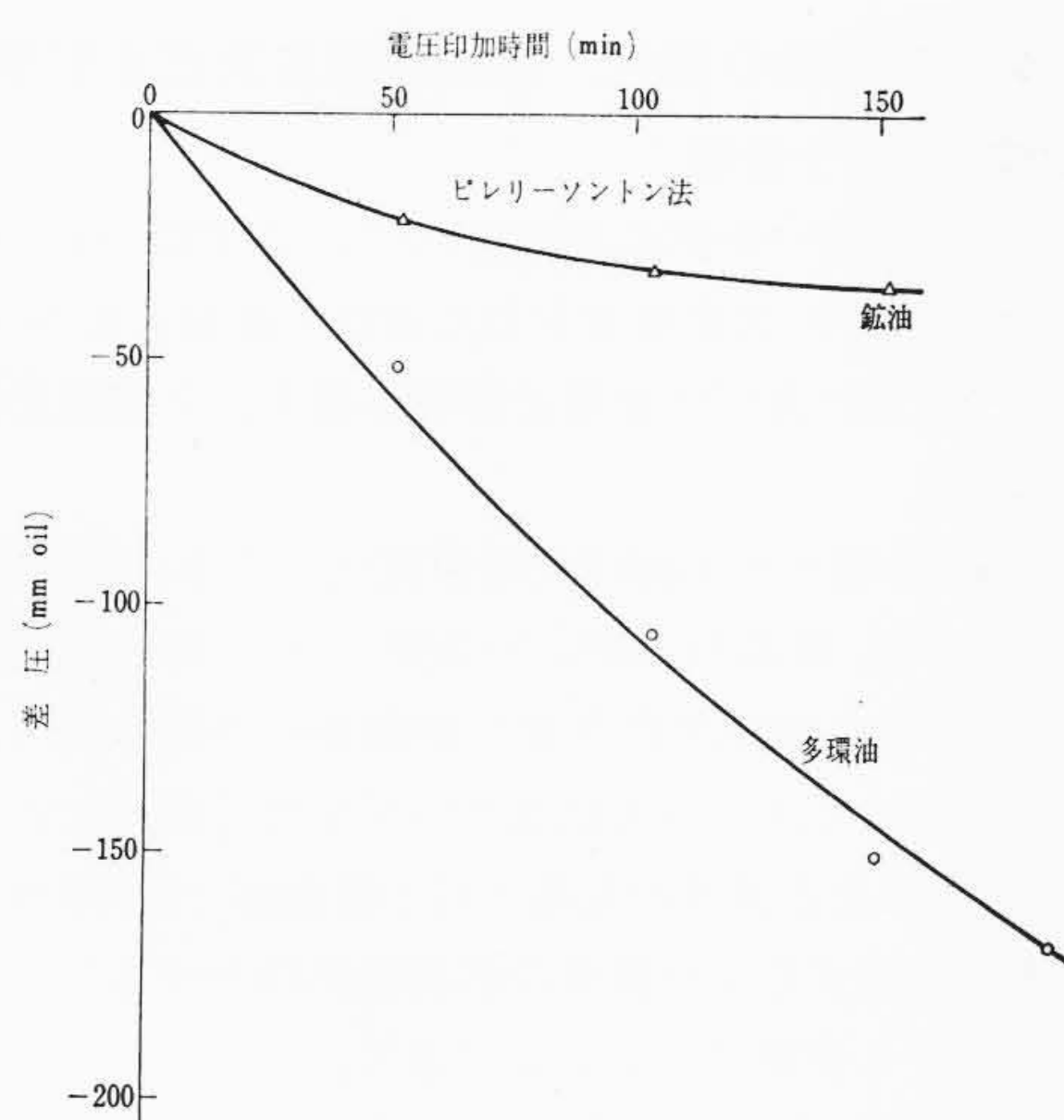


図3 多環油のガス吸収性

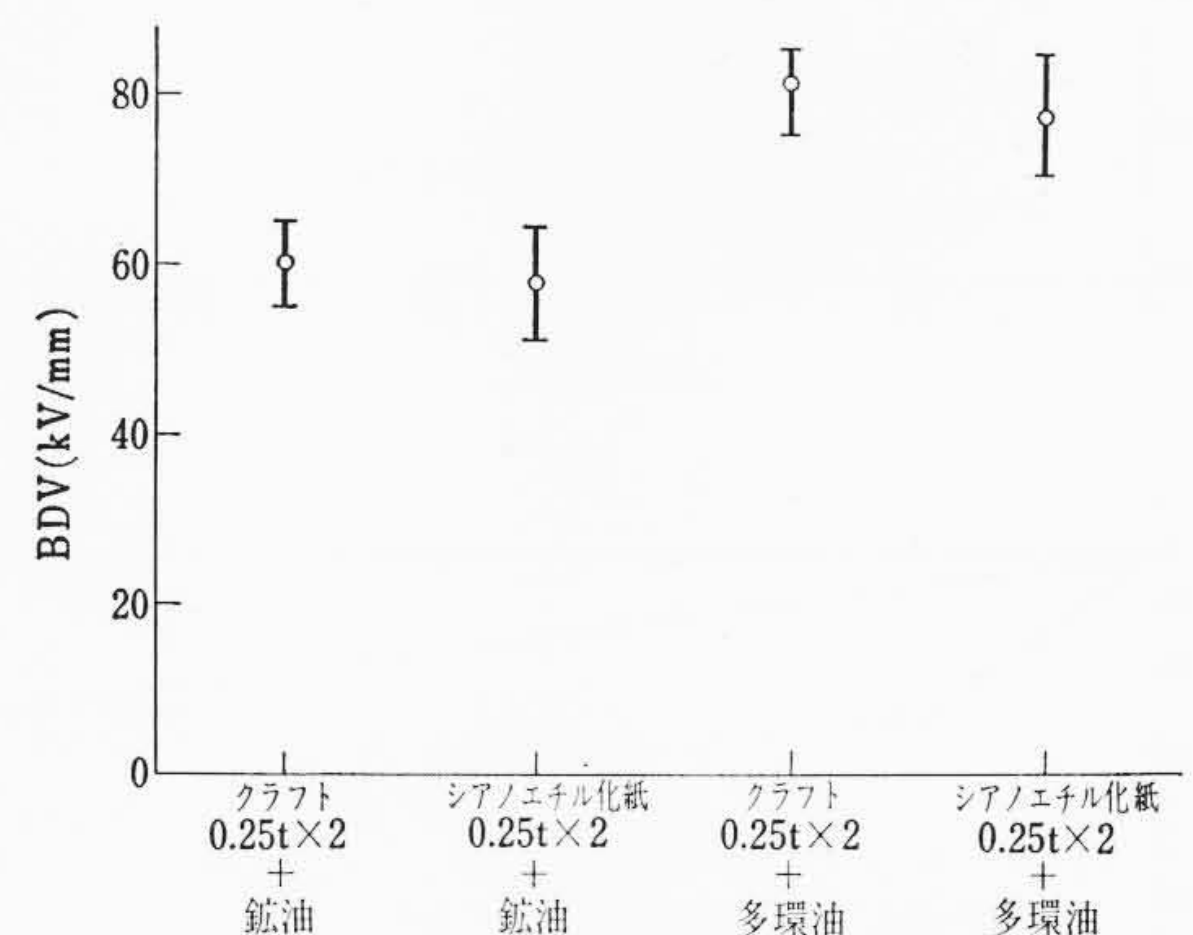


図5 多環油含浸紙の絶縁破壊特性

ジを生成しにくい多環油中でシアノエチル化紙を加熱劣化させてみた。劣化の判定は絶縁破壊強度などの電気特性より機械強度の低下が大きいことから引張強度を採用した⁽⁴⁾。

図6はシアノエチル化紙を多環油と鉱油中で加熱した場合の引張強度変化⁽²⁾⁽³⁾、図7は図6の引張強度変化を対数目盛で表わしたものの、図8は各加熱温度で引張強度が初期の50%に到達するまでの時間である。

シアノエチル化紙を多環油中で使用すると鉱油中で使用するより170℃加熱で12℃、150℃加熱で17℃高温で使用でき、これより低温における加熱ではさらに多環油中使用紙の耐熱性は向上することがうかがえる。したがってシアノエチル化紙を従来と同様の温度上昇(65 deg)で多環油中で使用すれば鉱油中で使用するよりいっそう機器の信頼性が向上し保守点検の手間もはぶけることになり、B種(温度上昇75 deg)としても使用できることがわかる。

なお図6において多環油130℃加熱の引張強度が17日目で初期値より大きくなったことについてはIngesoll氏⁽⁵⁾、Mann氏⁽⁶⁾、吉野氏⁽⁷⁾などが指摘しているようにセルロース分子の水酸基間で形成した水素結合がセルロース分子鎖切断による強度低下を補って余りあるためと考えている。

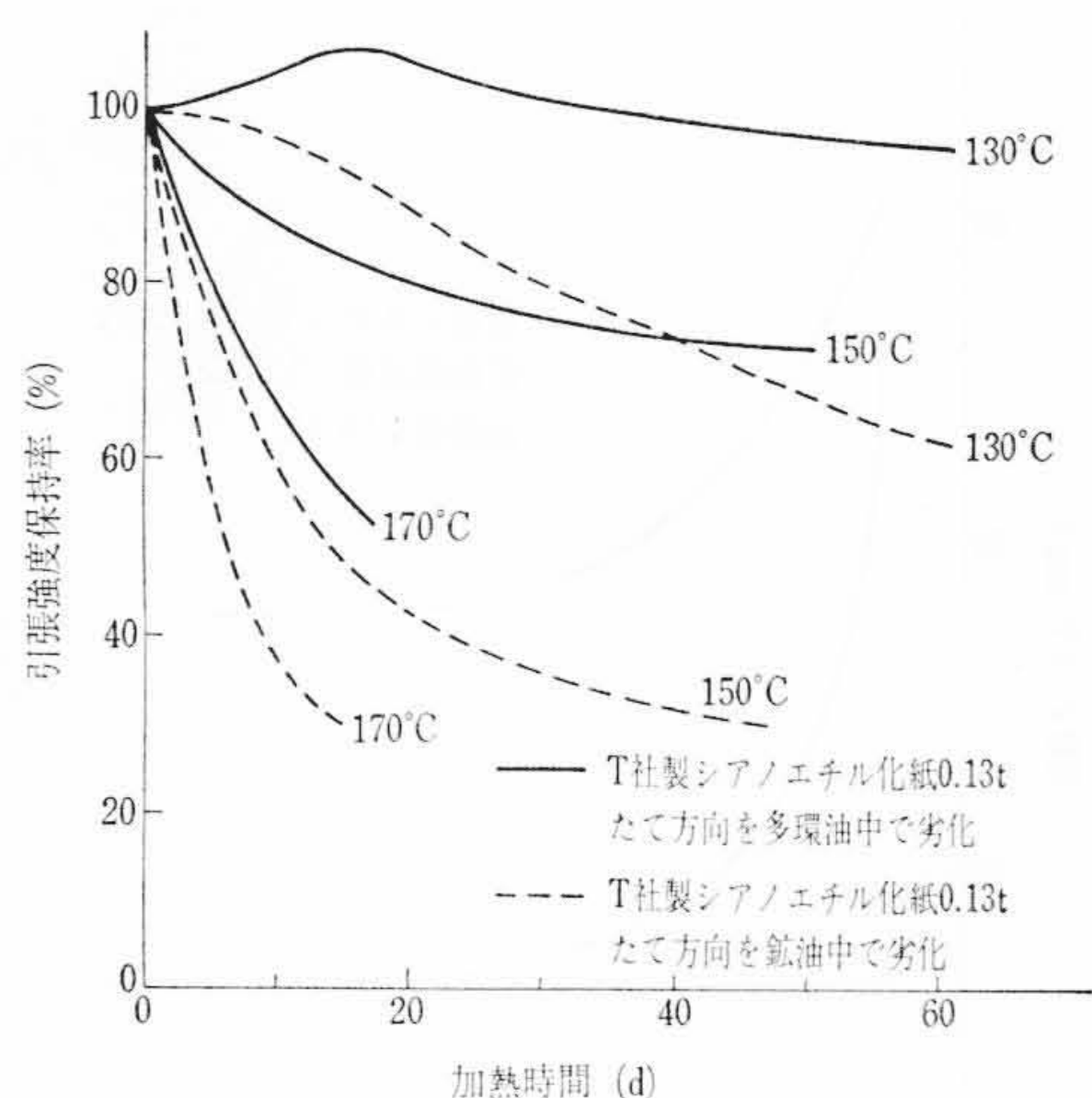


図6 油中加熱によるシアノエチル化紙の引張強度変化

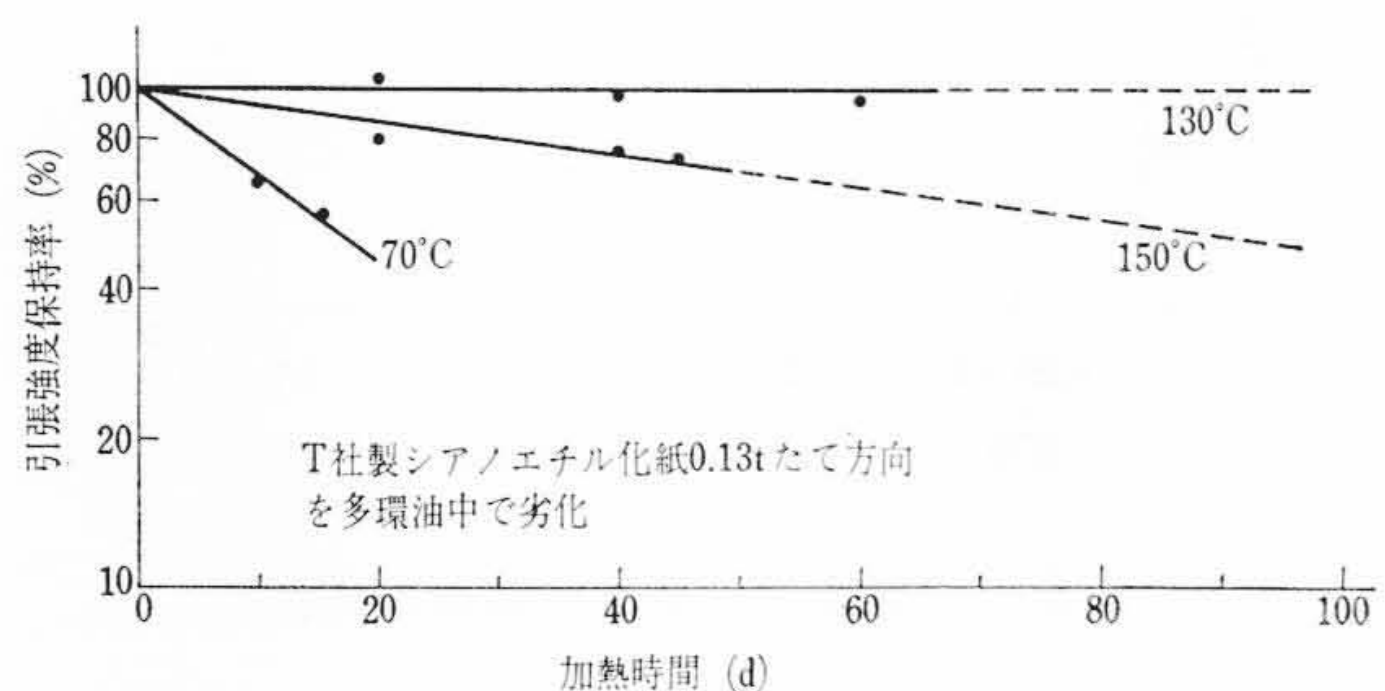
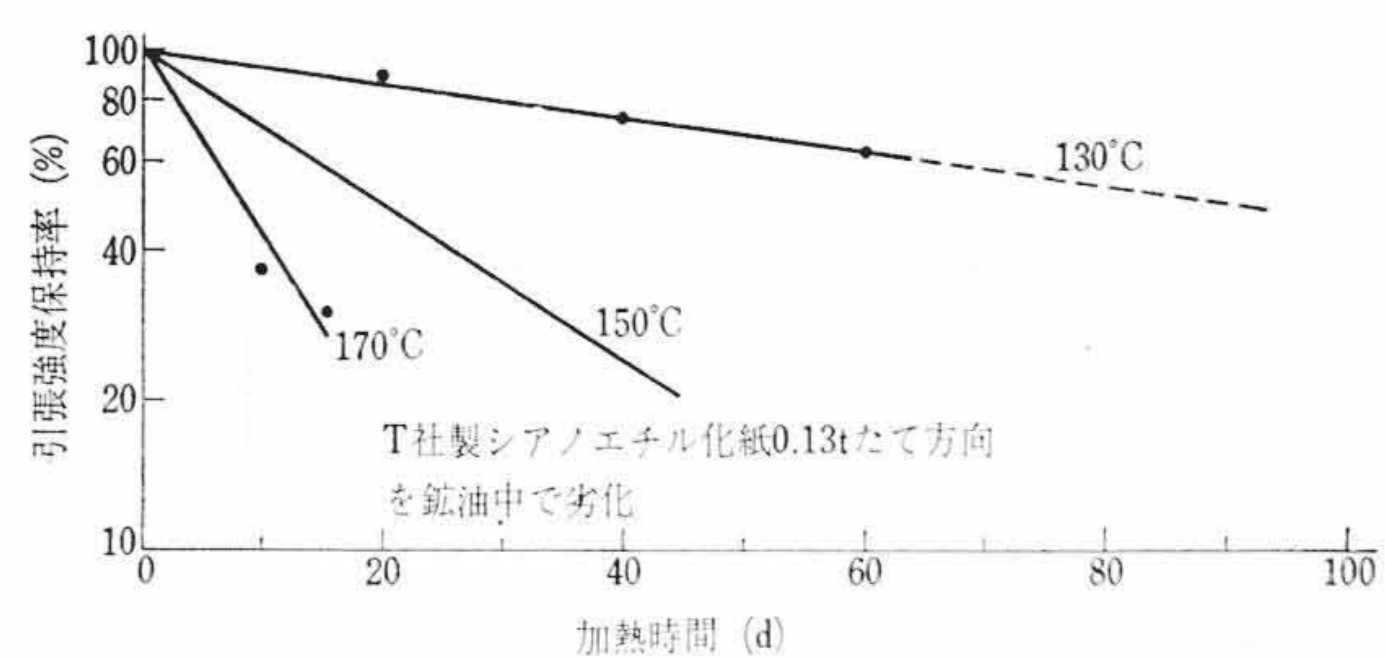


図7 油中加熱によるシアノエチル化紙の引張強度変化

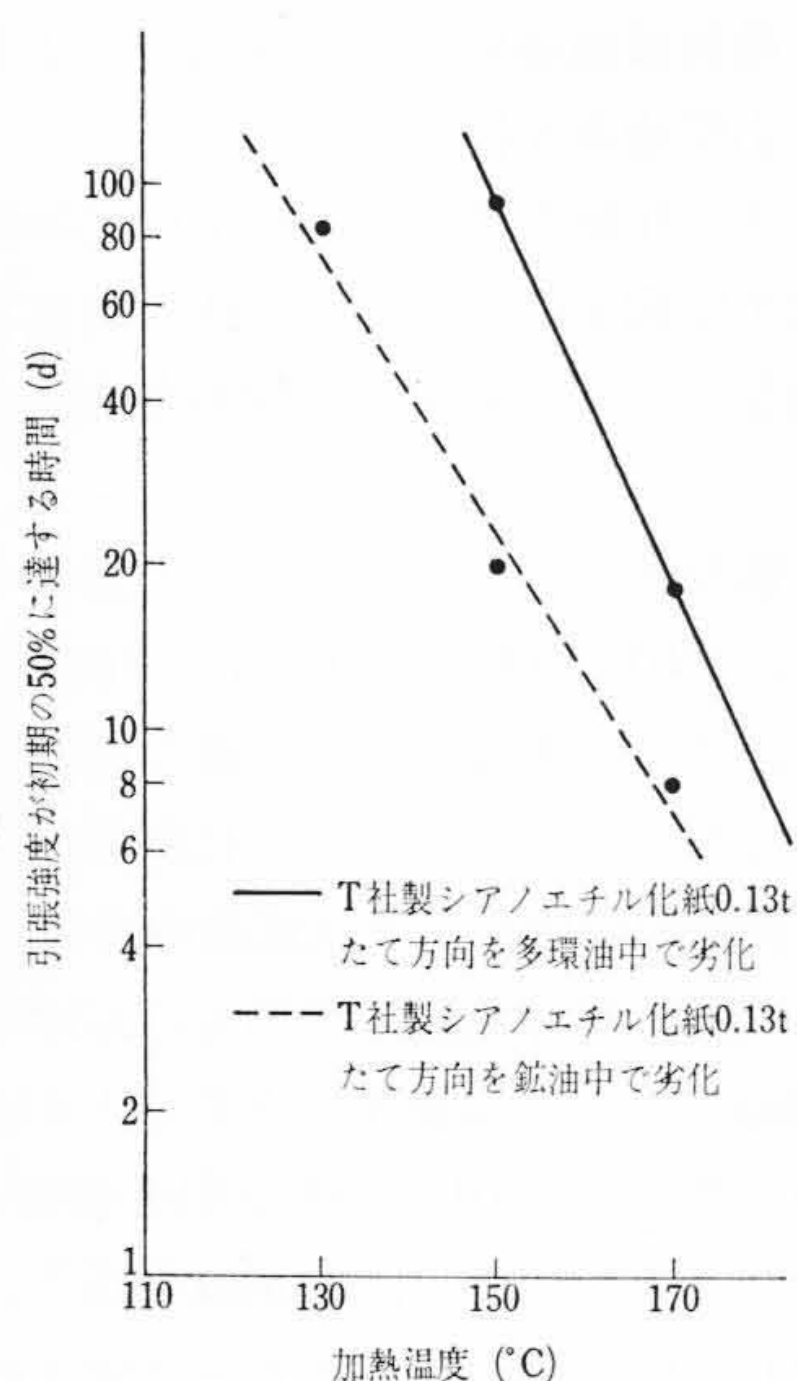


図8 引張強度が初期の50%に達する時間と加熱温度の関係

表2 油中劣化させたエナメル線のねん回はく離数変化

エナメル線の種類	絶縁油の種類	加熱温度	ねん回はく離数 (回)			
			劣化前	20日	40日	90日
PVF線	鋳油	150°C	88	66	60	60
	多環油	170°C	88	80	80	81

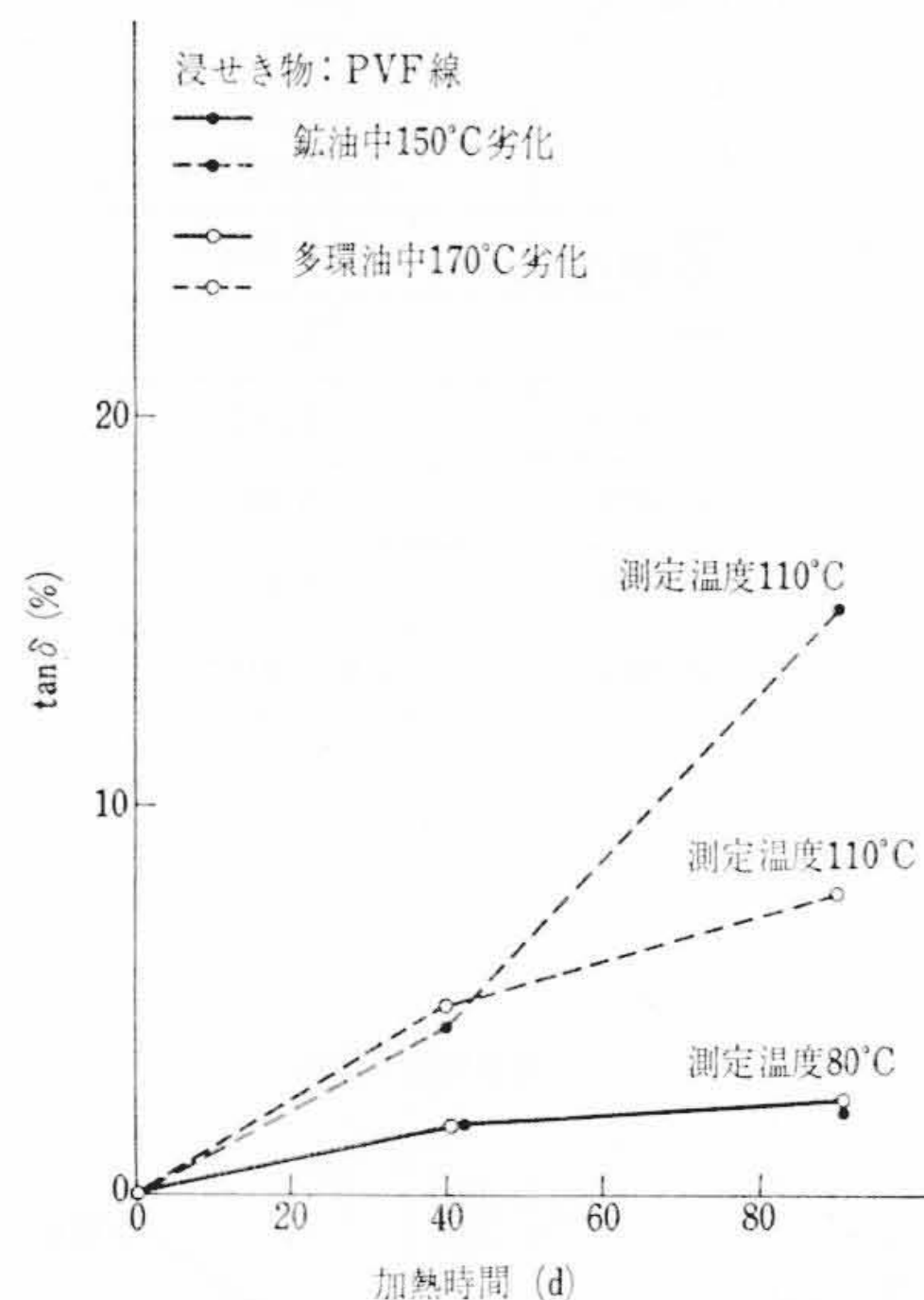


図9 PVF線を劣化させた絶縁油の誘電体損失変化

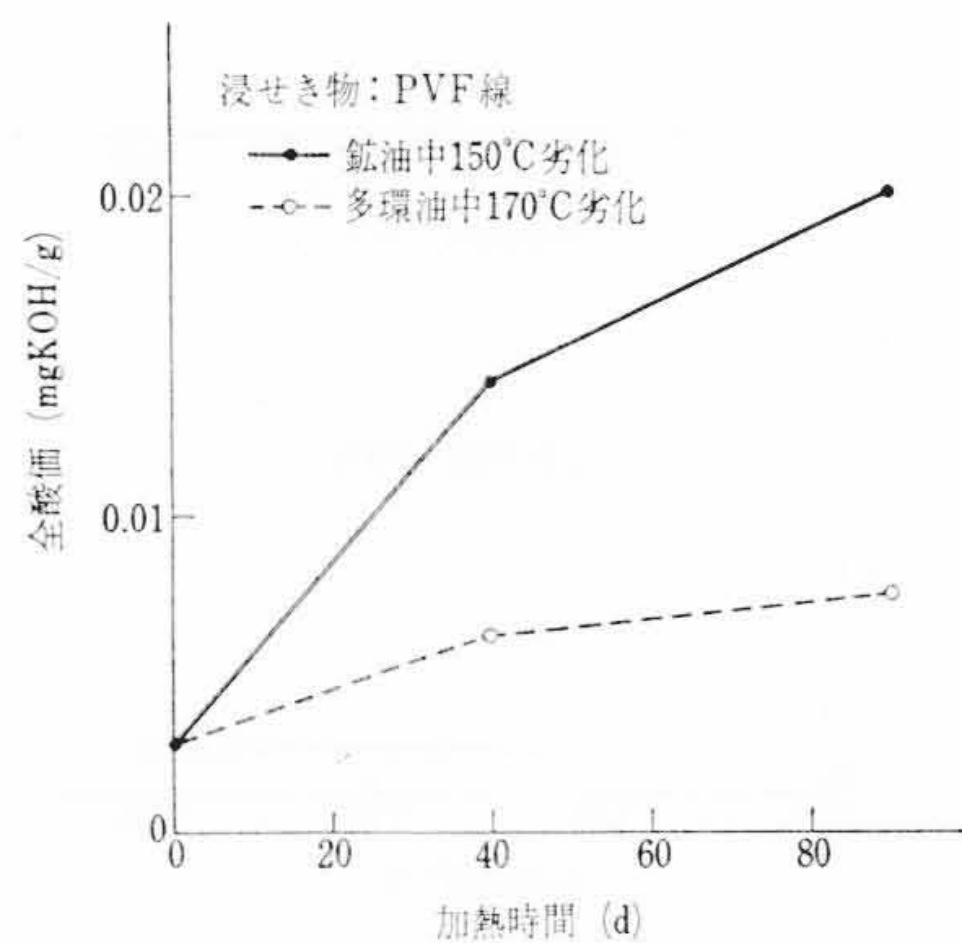


図10 PVF線を劣化させた絶縁油の全酸化変化

5. 多環油の電線、金属材料に及ぼす影響

5.1 電線に及ぼす影響

現在油入変圧器で一般的に使用されているPVF線を多環油中で劣化させ、PVF線の劣化度合をねん回はく離数変化から判定するとともに、絶縁油に及ぼす影響を誘電体損失、全酸価変化から測定した。

表2⁽³⁾はPVF線のねん回はく離数変化である。PVF線は多環油中で鋳油より20°C高温の170°Cで加熱しても特性は問題ない。図9、10はPVF線を加熱劣化させた絶縁油の誘電体損失、全酸価変化である。多環油のほうが劣化度合いが少なく問題ない。したがってPVF線を従来品と同様の温度上昇(65 deg)で多環油中使用すれば鋳油中使用するより機器の信頼性が向上するし、B種(温度上昇75 deg)でも使用することができる。

5.2 金属材料に及ぼす影響

変圧器で使用するすべての金属材料を多環油中で劣化させ、その

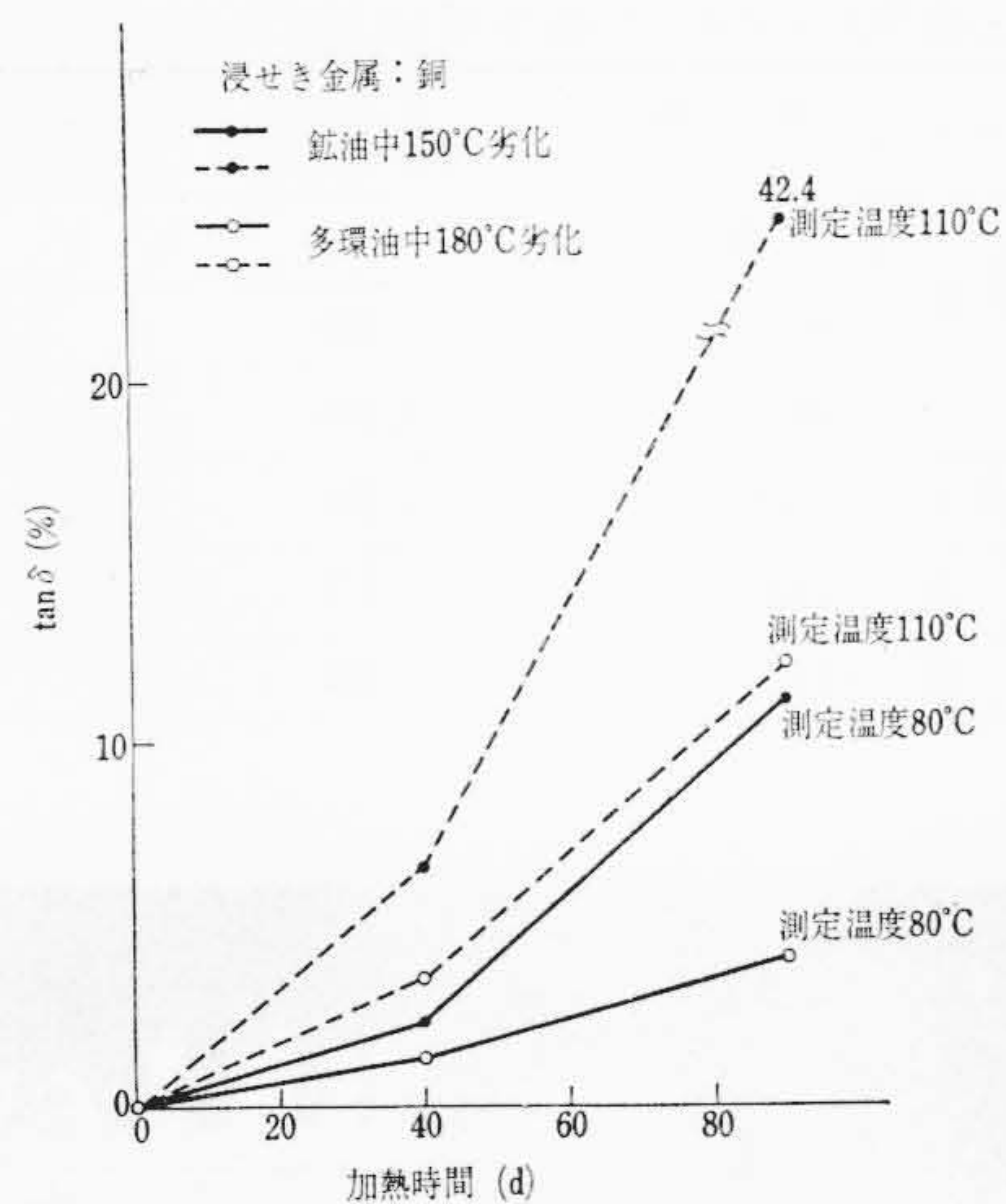


図 11 銅を加熱劣化させた絶縁油の誘電体損失変化

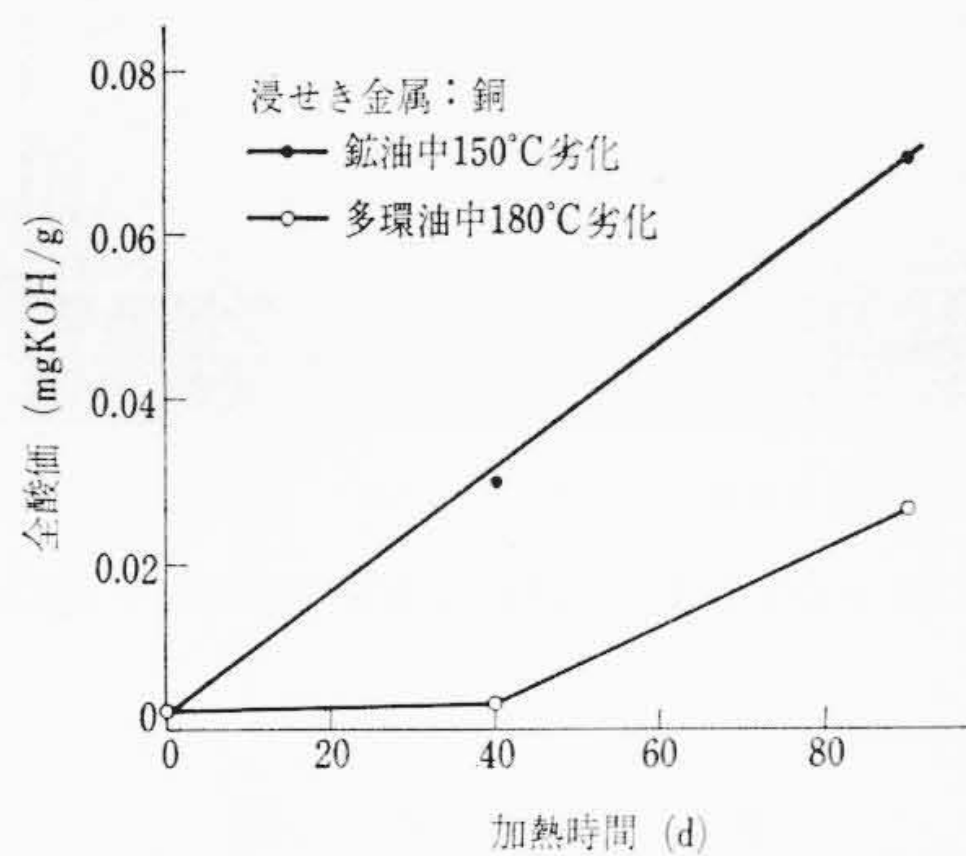


図 12 銅を加熱劣化させた絶縁油の全酸価変化

劣化度合いを外観変化、重量変化から判定するとともに絶縁油に及ぼす影響を誘電体損失、全酸価変化から測定した。いずれの金属も多環油中で使用できることがわかったのでここでは一例として導体部分に使用されている銅についての結果を報告する。銅は鉱油系絶縁油中で加熱した場合のように黒変せずほとんど変色が認められなかった。これは表 1 に述べたように多環油のほうが鉱油より硫黄(いおう)含有量はるかに少ないためであると考えられる。図 11, 12⁽⁸⁾は銅と共存劣化させた絶縁油の全酸価変化、誘電体損失変化である。多環油は 180°C で加熱し鉱油は 150°C で加熱したにもかかわらず全酸価変化は鉱油に比べはるかに小さい。一方誘電体損失はそれぞれ 80°C と 110°C の温度で測定されたが、多環油は鉱油より 30°C 高温で加熱劣化させられているにもかかわらずほぼ等しくなっている。以上のことから銅は多環油中で支障なく使用できることがわかった。

このほか変圧器ケース塗料、ワニス、パッキングなど変圧器構成材料すべてについて検討したが問題ないことを確認した。

6. 検討結果の要約

これまでに得られた結果を要約すると以下ようになる。

- (1) 多環油は鉱油より引火点が 30°C 高く鉱油より 30°C 高温で使用しても酸、スラッジの生成が少なく酸化安定性がすぐれている。したがって従来と同一温度上昇 (65 deg) で使用する場合には機器の信頼性が向上し保守点検も簡略化することができ、過負荷特性もすぐれたものが得られる。
- (2) 多環油のガス吸収性は鉱油より大きい。これは油中放電によって発生する分解ガスもボイドとなりにくいので絶縁上好ましい。

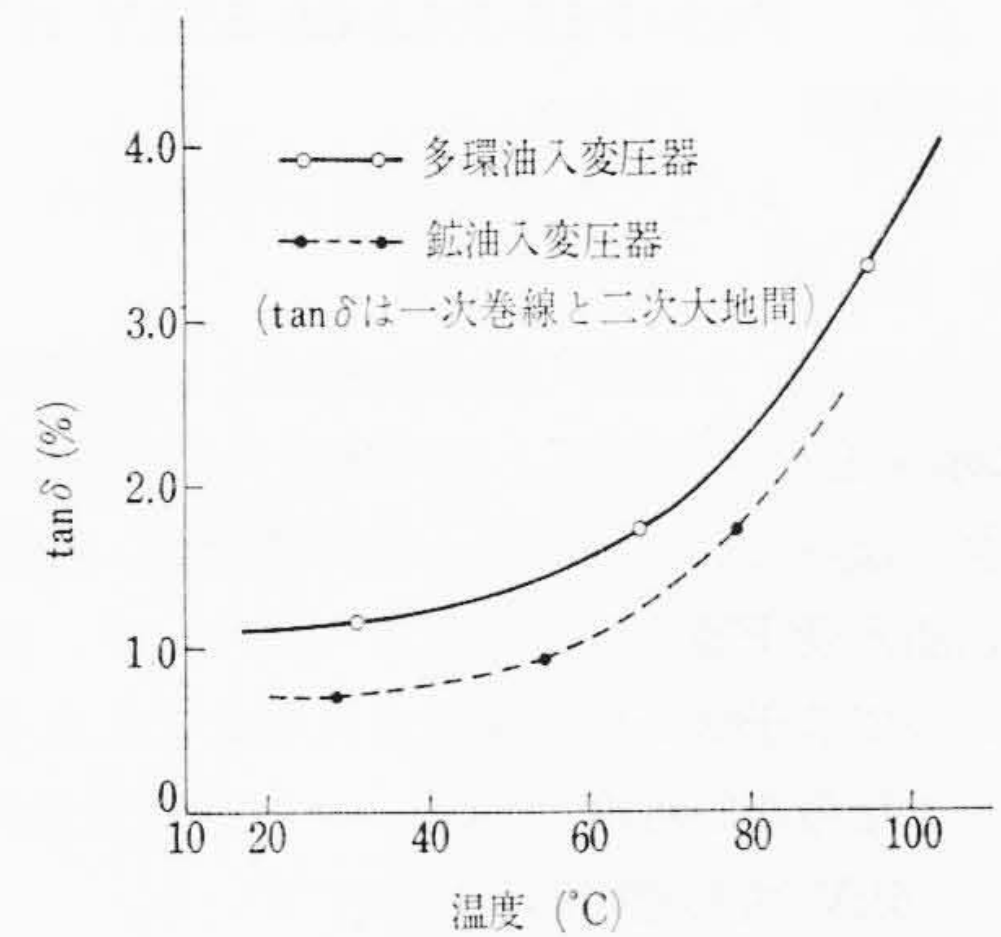
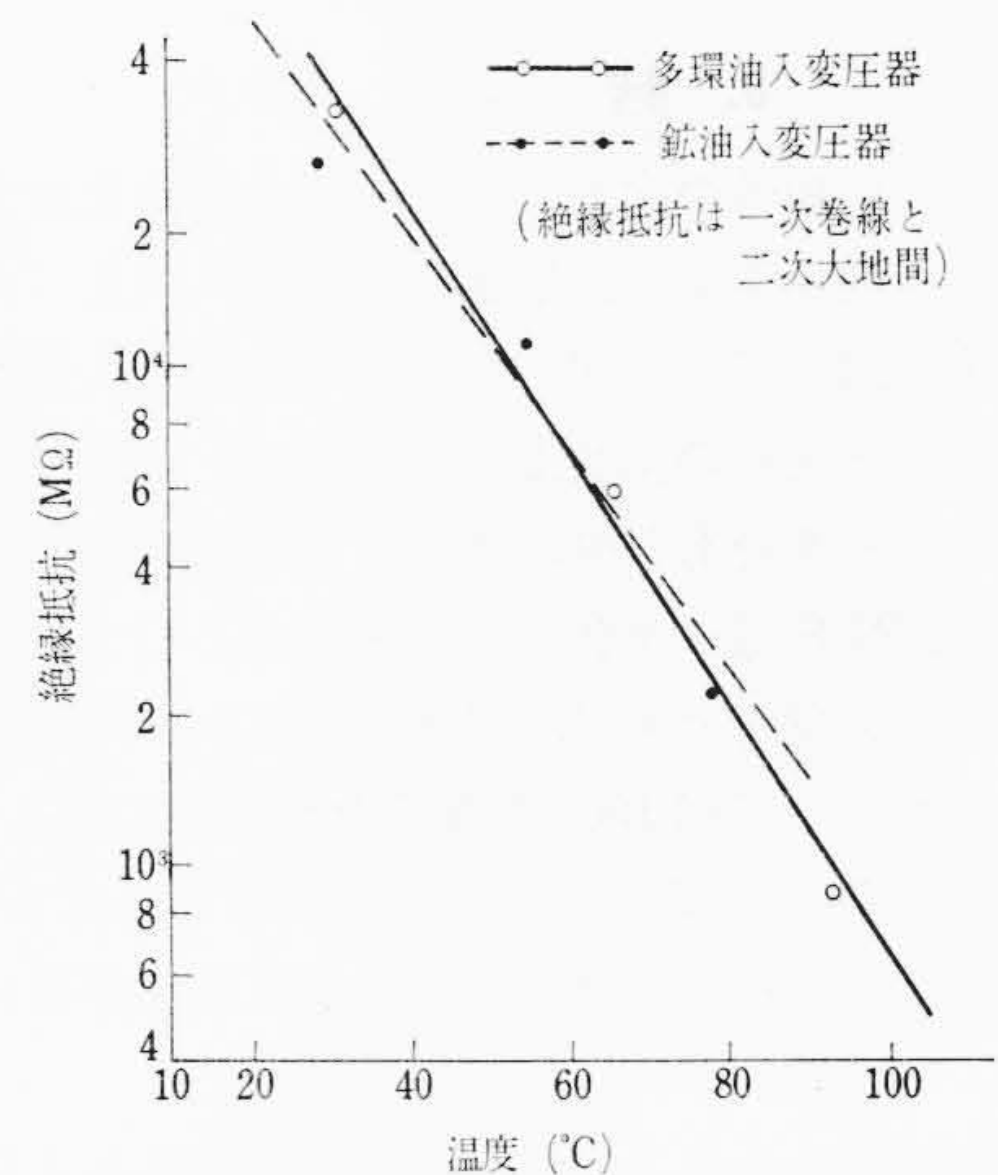
図 13 三相 100 kVA B 種多環油入変圧器の $\tan \delta$ の温度特性

図 14 三相 100 kVA B 種多環油入変圧器の絶縁抵抗の温度特性

(3) 多環油の絶縁破壊特性は鉱油より高い。その傾向は含有水分の増加とともに顕著になる。充電部の絶縁を構成する油浸紙の絶縁破壊強度も多環油含浸紙のほうが 30% 高い。したがって多環油を使用すれば製品の絶縁性能が向上する。また配電電圧が高圧化される傾向にあるのでこれに適した絶縁油でもある。

(4) シアノエチル化紙を多環油中で使用すると鉱油中で使用するより 170°C 加熱で 12°C, 150°C 加熱で 17°C 高温で使用でき、これより低温ではさらに多環油中使用紙の耐熱性は向上することがうかがえる。したがってシアノエチル化紙を従来と同様の温度上昇 (65 deg) で多環油中で使用すれば機器の信頼性が向上し保守点検が簡略化する。

(5) PVF 線を従来と同様の温度上昇 (65 deg) で多環油中で使用すれば鉱油中で使用するより機器の信頼性が向上する。

(6) 銅をはじめとした金属材料も多環油中で使用できる。

(7) (4)~(7) で述べた材料以外の諸材料についても多環油中で使用できるものを選定している。

(8) 以上の結果から B 種 (温度上昇限度 75 deg) としても使用できる。

これらの事実をもとに B 種多環油入変圧器を試作した。

7. B 種多環油入変圧器⁽⁸⁾例

7.1 仕様

三相, 100 kVA, 50 Hz 屋外用 B 種 多環油入自冷式変圧器

電 圧 F6.9-F6.6-R6.3-6.0-5.7 kV/210V
巻線の温度上昇限度 75 deg
結 線 人/△ 絶縁階級 一次6号A

7.2 電気特性

一次端子と二次端子，大地間の誘電体損失と絶縁抵抗の温度特性は図13，14に示すとおりである。誘電体損失は多環油入変圧器のほうが若干大きくなっているが実用上支障はない。絶縁抵抗は多環油入変圧器と鉱油入変圧器の間に差はみられないが，前者のほうが運転温度が高いので若干低い所で使用されることになる。しかしこれも実用上問題にならない程度である。一般的な電気特性はJISC 4305-1969「中形6kV油入変圧器」に準じている。

7.3 寸法，重量

表3は一般に使用されている鉱油入変圧器との比較である。三相，100 kVA，50 Hz 変圧器で重量，容積，油量がそれぞれ88%，78%，55%に小形軽量化されている。図15は外観を示したものである。

8. 結 言

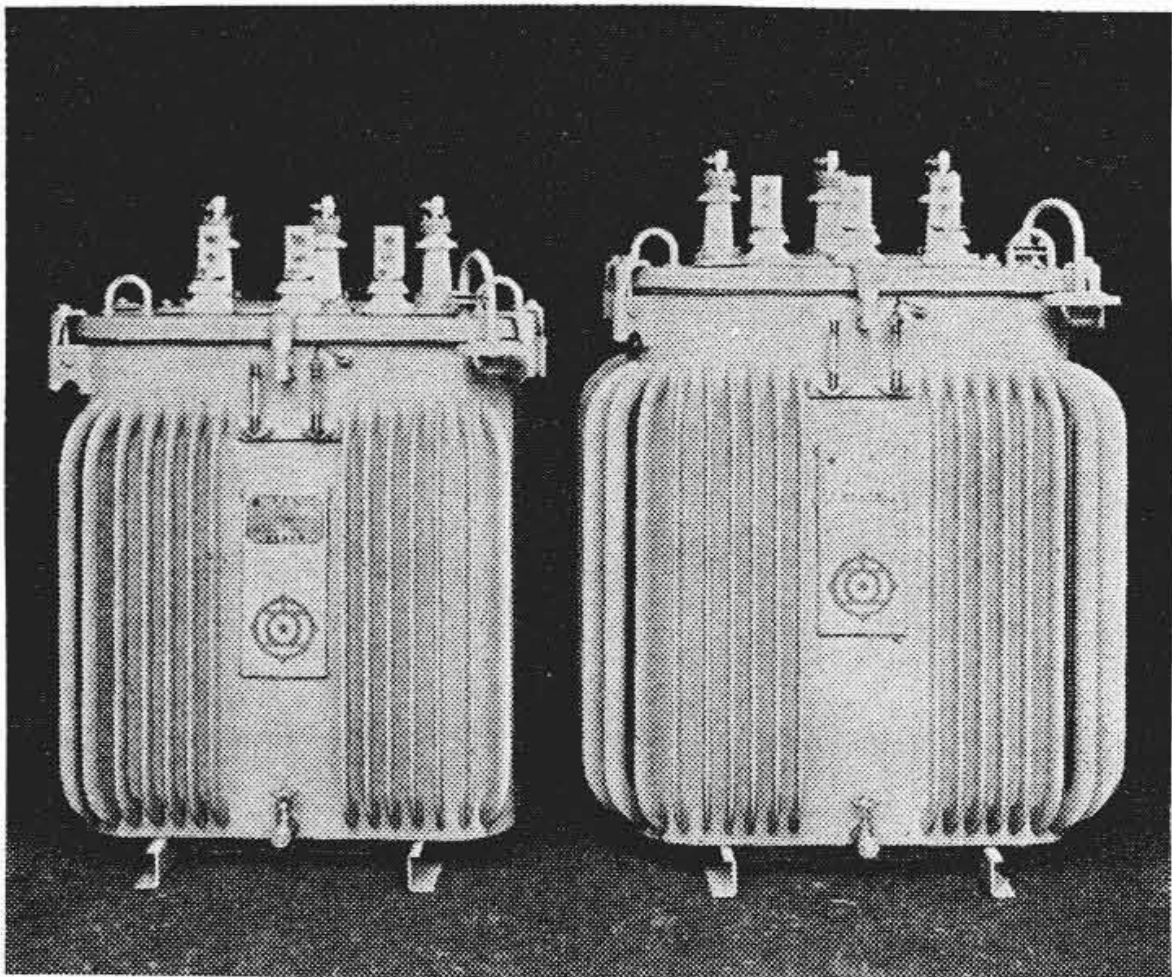
配電用変圧器の信頼性の向上，保守点検の簡略化および小形軽量化を図るため絶縁油を従来の鉱油から多環油に代え，これと既存のシアノエチル化紙，PVF線を組み合わせて多環油入変圧器を製作した。本器は従来品と同様の温度上昇（65 deg）で使用する場合には絶縁油はB種の耐熱性を有し酸，スラッジが生成しにくいうえにシアノエチル化紙，PVF線の劣化防止効果があるので信頼性および過負荷特性が向上し，保守点検も簡略化される。B種（温度上昇75 deg）変圧器にすると三相100 kVA，50 Hz品で重量，容積，油量をそれぞれ88%，78%，55%に小形軽量化することができる。また多環油を用いた油浸紙は絶縁破壊強度が鉱油より高いので絶縁性能も向上する。

用途としては信頼性の向上，保守点検の簡略化および小形軽量化を必要とする柱上変圧器，地中配電用変圧器，キュービクル収納形変圧器などが考えられる。

終わりに本研究に際し種々ご指導いただいた東京工業大学電気工学科日野太郎博士，種々ご協力いただいた呉羽化学工業株式会社の関係者各位，絶縁紙の試験に種々助言をいただいた株式会社巴川製紙所の関係者各位に厚くお礼を申し上げます。

表3 三相100 kVA B種多環油入変圧器の寸法，重量

機 種		B 種 多環油入変圧器	A 種 鉱油入変圧器
寸法・重量			
寸 法 (mm)	幅	810	900
	奥行	600	600
	高さ	1,080	1,240
中身つり上げ高さ (mm)		1,970	2,290
重 量 (kg)		575	650
油 量 (l)		101	183



(左) B種多環油入変圧器 (右) A種鉱油入変圧器

図15 三相100 kVA 50 Hz 6 kV 級/210V 油入変圧器

参 考 文 献

(1) 伊藤,山田ほか3名: 絶縁油に関する講演会要旨集(昭45-10)
(2) 三好,長岡,三木: 昭和45年電気学会東京支部大会 No.100 (昭45-10)
(3) 三好,長岡,三木: 絶縁油に関する講演会要旨集(昭45-10)
(4) 松村,上田ほか2名: 日立評論 46, 2022 (昭41-12)
(5) H.G. Ingesoll: J. Appl. Phys. Vol. 17 294 (1946)
(6) J. Mann, H. J. Marrinan: Trans. Farady Soc. Vol. 52 481 (1956)
(7) 吉野: 工業化学雑誌 Vol. 61, No. 121 (1958)
(8) 三好,長岡,田崎: 昭和46年電気学会全国大会 No.582 (昭46-3)

本誌 Vol. 53 No. 8「広角(110度)偏向オールトランジスタカラーテレビ受信機の開発」の中で，

表1 20形110度偏向オールトランジスタカラーテレビ受信機CT-950L仕様
に掲載しましたブラウン管の説明に誤りがありますので，訂正しておわびいたします。

	誤	正
向かって左側の説明	20形 90度偏向ブラウン管	20形 110度偏向ブラウン管
向かって右側の説明	20形 110度偏向ブラウン管	20形 90度偏向ブラウン管