



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	合成絶縁油使用電力コンデンサの低温特性
Author(s)	坂本, 三郎; Sakamoto, Saburo; 田頭, 博昭 他
Citation	北海道大學工学部研究報告, 34, 55-65
Issue Date	1964-03-20
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/40718">https://hdl.handle.net/2115/40718</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	34_55-66.pdf



# 合成絶縁油使用電力コンデンサの低温特性

坂本三郎 田頭博昭 金子良松

村松道司 沢田貞夫

電気工学科電力及び電力応用学第二講座

## Low Temperature Characteristics of Electric Power Condenser Impregnated with Synthetic Oil

Saburo SAKAMOTO, Hiroaki TAGASHIRA, Yoshimatsu KANEKO,

Michishi MURAMATSU and Sadao SAWADA

(Electric Engineering Department)

It is known that electric power condensers impregnated with synthetic oil show problems in their usage at rather low ambient temperatures. Namely, synthetic oil, e.g. diphenyl tetrachloride, reveals extraordinary characteristics of dielectric constant, dielectric loss tangent and insulating resistance at temperatures below zero constituting a danger of unpredictable operations which can not be surmised from known characteristics at ordinary temperatures.

The present experiments and measurements were conducted with the intent of clarifying the problem.

50-, 25- and 10-kVA power condensers impregnated with diphenyl tetrachloride were prepared. The 10-kVA condenser was equipped with thermocouples which are inserted internally in order to record the internal temperatures. The test ambient temperature ranged from  $+5^{\circ}\text{C}$  to  $-35^{\circ}\text{C}$ . The final conclusion was that no difficulties or dangers were observable in the practical usage of such power condensers.

The investigation can be summarised as follows. The temperature rise at the rated load of these condenser is only  $32.5^{\circ}\text{C}$  even at an ambient temperature of  $-35^{\circ}\text{C}$  which was the lowest in these experiments, and the casing temperature rise was only about  $10^{\circ}\text{C}$ . The internal temperature when loaded, ranges from the lowest  $-10^{\circ}\text{C}$  to the highest  $-5\sim+5^{\circ}\text{C}$  even at  $-35^{\circ}\text{C}$  ambient temperature. These are well beyond the point where the synthetic oil begins to show abnormal dispersion characteristics. Thus it seems safe to conclude that for practical purposes these condensers can be used without any possible danger.

With the temperatures, the electrostatic capacity and the insulating resistance were checked. The results show that within practical conditions with load, the former changes are very small and the latter values are large enough to maintain a safe operation. Insulation tests and impulse tests were also performed and nothing unusual was found.

## 目 次

I. 緒 論	2
II. 供試コンデンサについて	2
III. 試験方法及びその結果	3
(1) 試験方法及び装置	3
(2) 試験結果	4
(a) 温度上昇試験	4
i) 25 KVA シバノールコンデンサ	4
ii) 10 KVA 熱電対挿入シバノールコンデンサ	5
(b) 絶縁抵抗試験	7
(c) 静電容量, 誘電体力率測定	7
IV. 試験結果に対する考察	8
(1) 温度上昇試験	8
(2) $\tan \delta$ について	9
(3) 静電容量について	10
(4) 絶縁抵抗試験	10
(5) 衝撃電圧試験	10
(6) 絶縁耐力試験	10
V. 結 言	11

## I. 緒 論

合成絶縁油を使用した電力用コンデンサは、その難燃性、合成油の高誘電率による小型化その他によりその使用が次第に増加している。しかし、その誘電特性が、低温においてかなり急激な変化を示すために、冬期寒冷地におけるその使用に幾分危惧の感もたれる。これについては、すでに低電圧の電力用コンデンサにおける低温特性の試験結果が発表<sup>1)</sup>されているが、筆者らはさらに容量の大きい高圧用3相10, 25, 50 KVAのコンデンサについて試験研究を進め、また、内部に熱電対挿入のコンデンサを試作して、その低温特性を明らかにし、この種の機器使用に必要な資料を得たものと考え、ここにその結果を報告するものである。

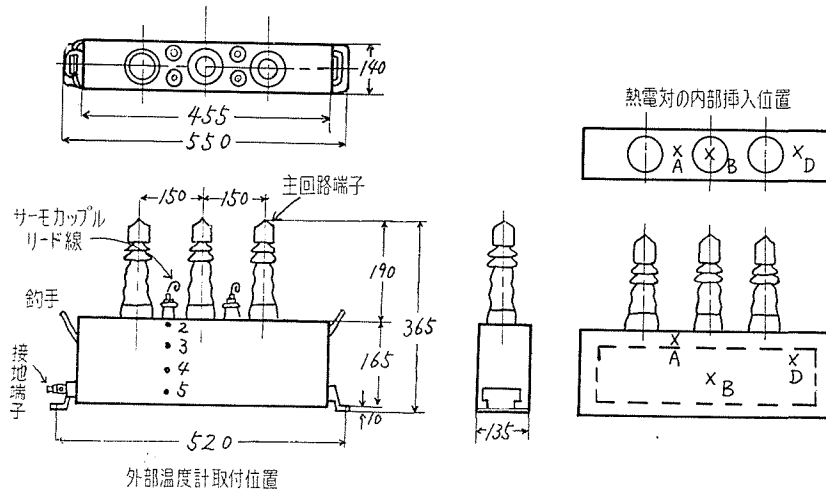
## II. 供試コンデンサについて

電力用コンデンサに合成油を使用することは、すでに以前から行なわれており、各種の合成絶縁油が実際に用いられている。前記報告<sup>1)</sup>においては五塩化ジフェニールを含浸剤としたコンデンサを中心としたものであるが、本研究においては四塩化ジフェニールを使用した東芝製シバノールコンデンサについて試験したものである。その定格を記すと第1表の如くである。

表中、(3)及び(4)は、内部温度測定のため、特に東京芝浦電気株式会社三重工場に依頼し、熱電対を挿入したコンデンサであり、その挿入個所及び主要寸法は第1図に示してある。

第 1 表

コンデンサ 番号	相 数	KVA	周波数 c/s	電 圧 KV	静 電 容 量	備 考
(1)	3	50	50	6.6	1.22 $\mu$ F/相	
(2)	"	25	"	"	0.61	
(3)	"	10	"	"	0.244	熱電対挿入
(4)	"	10	"	"	0.244	"



第 1 図 10 KVA コンデンサの寸法 (mm)

### III. 試験方法及びその結果

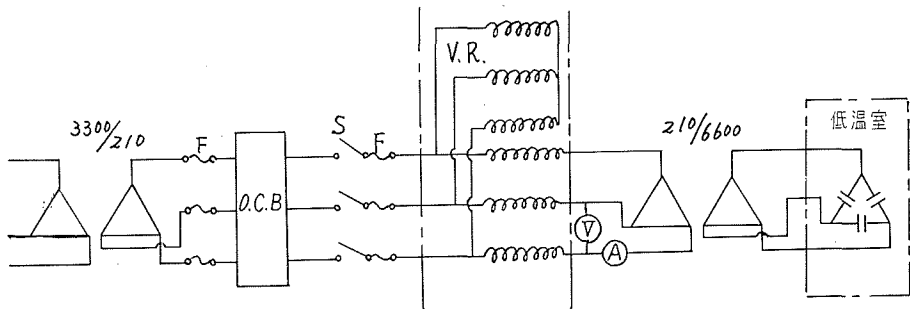
#### (1) 試験方法及び装置

この試験は、北海道大学工学部電力及び電力応用学第二研究室内低温実験室において、昭和 35 年 10 月より昭和 37 年 9 月までの期間に行なったもので、その方法は JIS C-4902<sup>2)</sup> に準拠している。

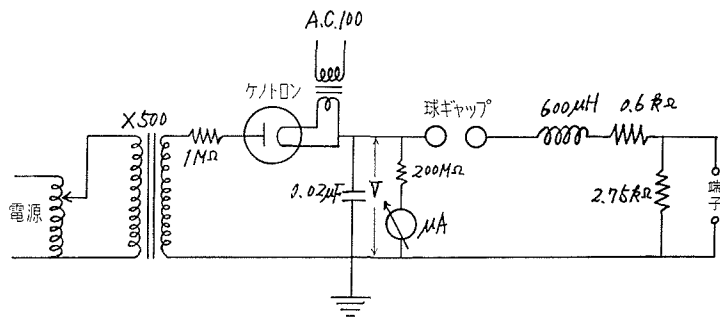
温度は  $-35^{\circ}\text{C}$  まで低下してその誘電特性の変化すなわち誘電正接、静電容量、絶縁抵抗の測定並びに負荷時の内部温度および外箱壁温度上昇試験を行ない、また絶縁耐力並びに衝撃電圧試験も行なった。

誘電正接及び静電容量の測定には General Radio Co. 製直続型 Capacitance Test Bridge を用い一部 Sherring Bridge での値と比較した。また、絶縁抵抗測定は検流計により直偏法で行なった。

第 2 図には、負荷時の温度上昇試験回路を、第 3 図に、衝撃電圧試験回路を示す。



第2図 温度上昇試験回路



第3図 衝撃電圧試験回路

## (2) 試験結果

この結果の一部は、すでに発表<sup>3),4)</sup>したが、ここにはそれらをまとめて整理した結果をあわせて報告するものである。

### (a) 温度上昇試験

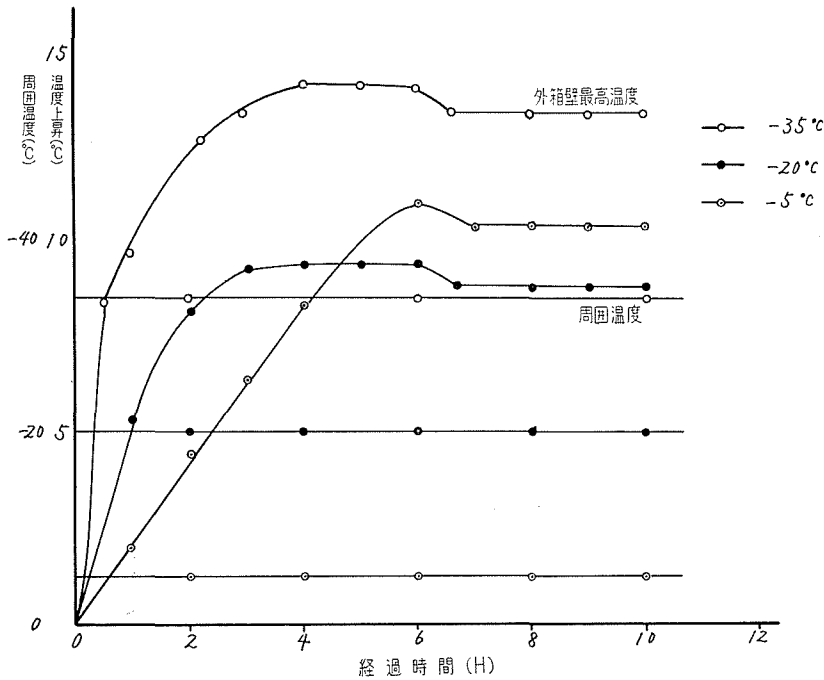
供試コンデンサに全負荷電圧を与えて、時間と共に上昇する温度特性をとった。電源側電圧調整器の容量の関係で、試験は 25 KVA 及び 10 KVA のコンデンサについて行なった。また試験時間短縮のために JIS C-4902<sup>2)</sup> によって、電圧印加の最初の 6 時間は 120% 過電圧を加え、6 時間後は定格電圧値に戻した。

長時間運転のため、試験時刻が夜半にかかると、送電系統が進力率となり、電流波形にはかなりの高調波分(第 5 高調波)を含むようになり、その影響を受けるので 10 KVA のコンデンサ試験には特に試験時刻を検討して実験計画をたてて行なった。

#### i) 25 KVA シバノールコンデンサ

コンデンサ外箱側面中央部にクロメルアルメル熱電対を貼付し、外箱壁温度の上昇を測定した結果を第 4 図に示す。

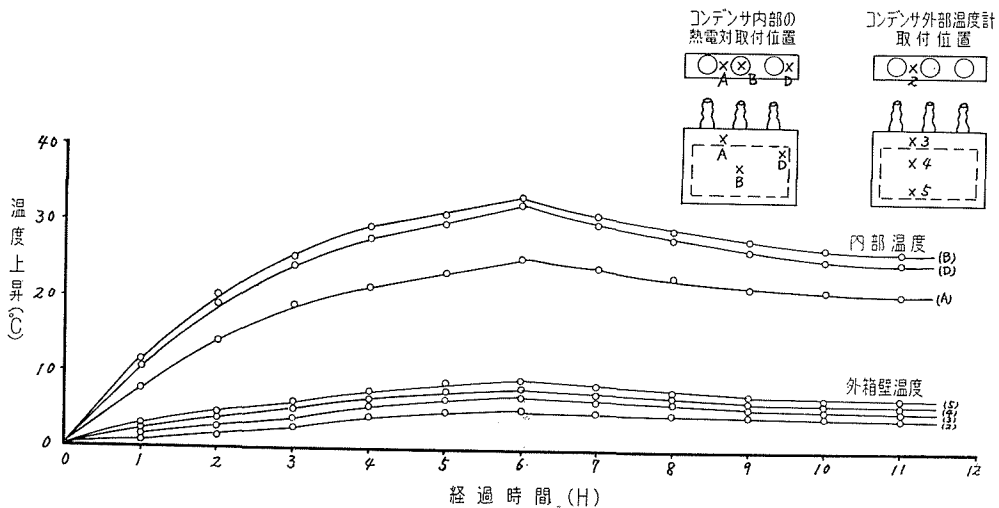
試験温度は  $-5 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $-20 \pm 0.5^\circ\text{C}$  及び  $-35 \pm 0.5^\circ\text{C}$  である。



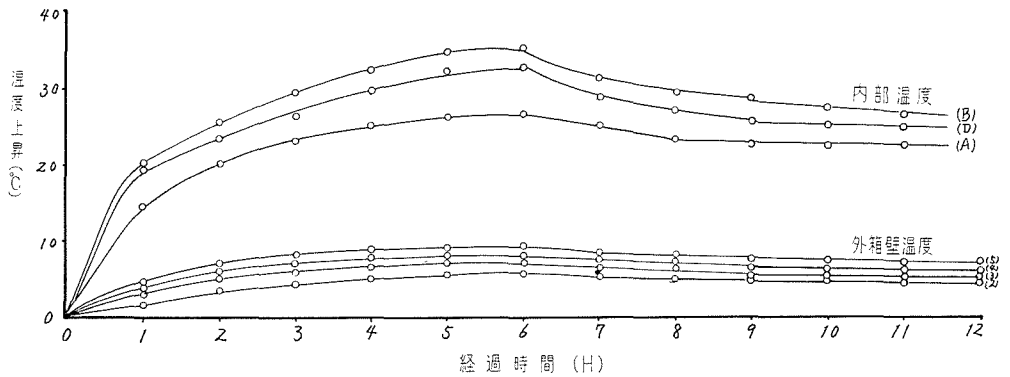
第4図 25 KVA コンデンサ温度特性曲線

ii) 10 KVA 熱電対挿入シバノールコンデンサ

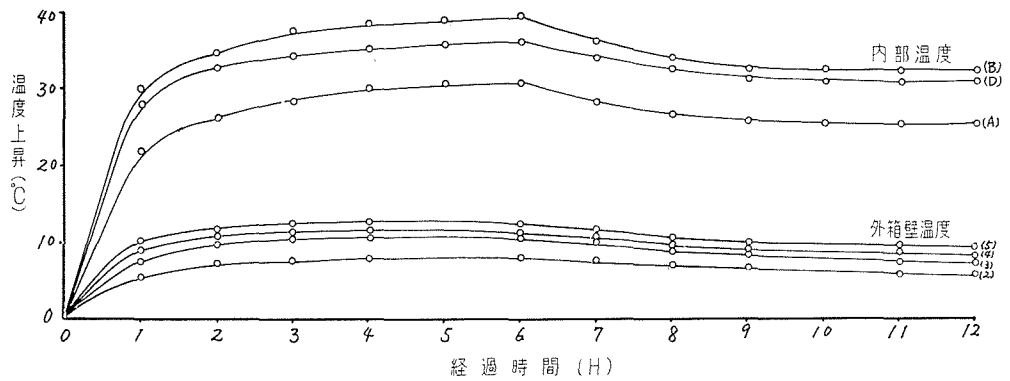
第5~7図に、10 KVA 熱電対コンデンサの内部及び外壁温度上昇の傾向を示すが、第5図に見るとく、内部の中央(B点)が最も温度上昇が大きく、上部(A点)が最も少ないことが見られ、同じ内部でもかなりの不均一性を示すことが明らかにされた。第8図には $-5^{\circ}\text{C}$ 、 $-20^{\circ}\text{C}$ 、 $-35^{\circ}\text{C}$ における内部及び外壁最高温度上昇の比較を行なっているが、外気温度が



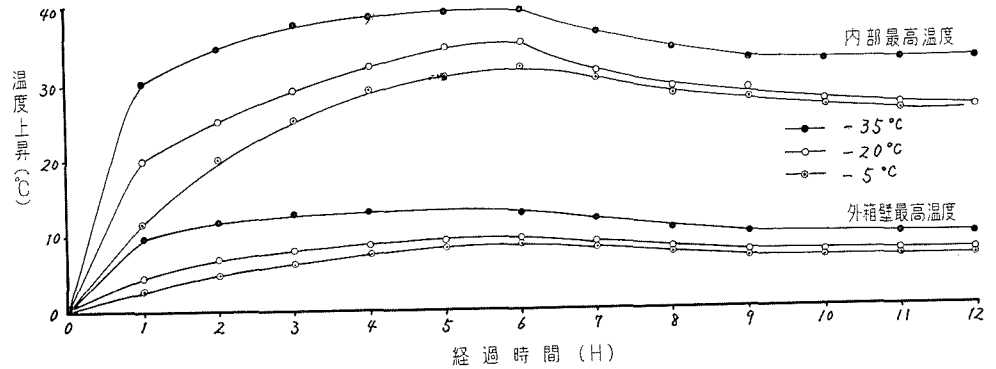
第5図 10 KVA  $-5^{\circ}\text{C}$  温度上昇特性曲線



第 6 図 10 KVA - 20°C 温度上昇特性曲線



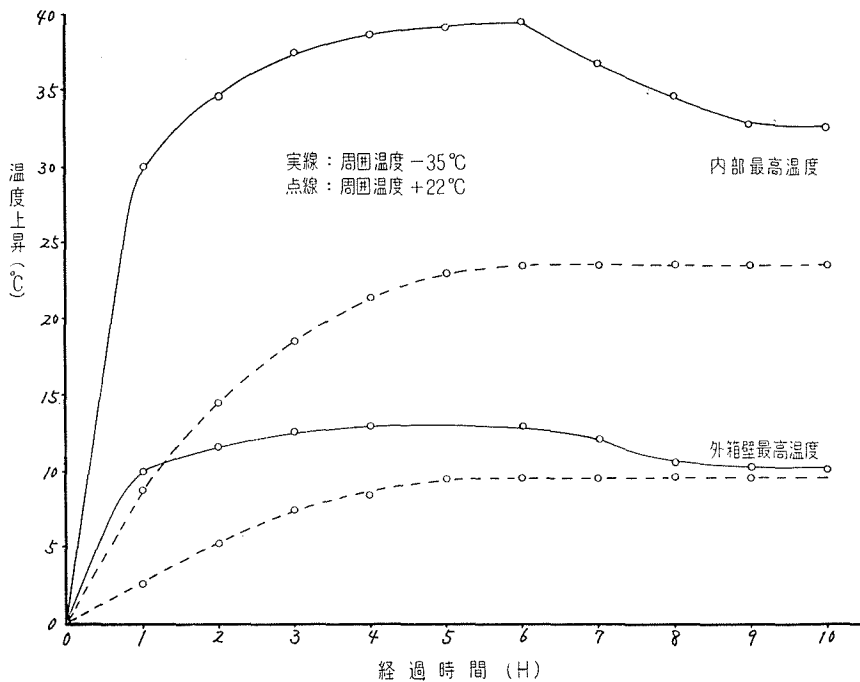
第 7 図 10 KVA - 35°C 温度上昇特性曲線



第 8 図 10 KVA 温度上昇特性曲線

-35°C において最高を示し、全負荷時には、32.5°C の温度上昇に落ち着き、この場合、その点の実際の温度が -2.5°C であることが明らかにされた。また、外気温度 -35°C における最低点 A 点の実際温度は、第 7 図から、 $-(35^{\circ}\text{C} - 25.5^{\circ}\text{C}) = -9.5^{\circ}\text{C}$  を示すことが知られた。

さらに周囲温度 +22°C の常温における試験結果と比較したものは、第 9 図に示す如くで、この場合の温度上昇の幅は 23.5°C で、その実際温度は +45.5°C と相当の差異のあることが見



第9図 10 KVA 温度上昇特性曲線

出された。

(b) 絶縁抵抗試験

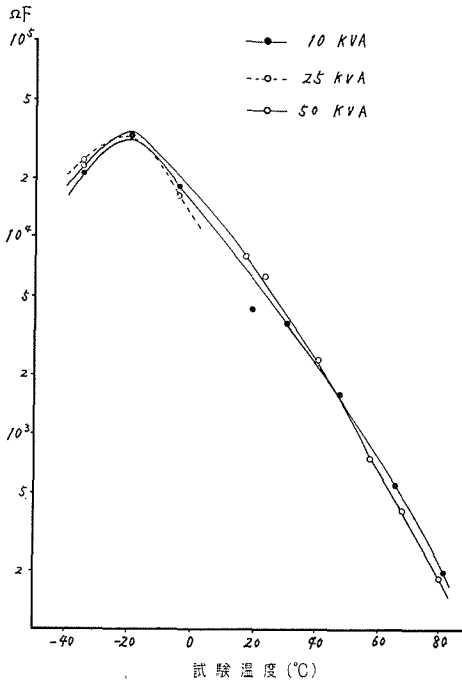
次に、直偏法による絶縁抵抗測定並びに静電容量測定を行ない、その結果から  $\Omega F$ —温度特性を示したものが、第10図である。

図中10 KVAの曲線における温度は、熱電対による内部の中心温度をとっている。

第2表には、10 KVAのコンデンサについての測定記録を示しているが、常温以上の場合は東芝三重工場における試験結果を利用し第10図に連結した曲線として表わしている(第2表参照)。

(c) 静電容量、誘電体力率測定

前記 Capacitance Test Bridge を用いて低温時における静電容量及び誘電体力率の変化の様子を調べた。特に  $\tan \delta$  の値は内部温度降下に伴い刻々と変化する事を明瞭に確かめたが、その結果を第11図に示す。



第10図 絶縁抵抗温度特性曲線

第 2 表

内部温度 (°C)	端子符号	容 量 ( $\mu$ F)	絶 縁 抵 抗 (M $\Omega$ )	$\rho$ F	室 温 (°C)	$\tan \delta$ (%)
-5	U-VW	0.53	23,300	11,900	-26	0.14
-10	"	0.532	—	—	-31	0.69
-20	"	0.525	63,200	32,200	-35	7.0
-25	"	0.434	—	—	-36.7	14.2
-30	"	0.377	—	—	-36.7	6.5
-35	"	0.350	57,400	21,500	-37	2.42

なお、コンデンサの冷却に伴い、内部容積の収縮による外函箱の変化が認められ、 $-35^{\circ}\text{C}$  で 50 KVA のものが最大 5.9 mm、25 KVA のものが最大 4.8 mm の片面凹変を測定した。

#### (d) 絶縁耐力試験

各コンデンサにつき、低温室内  $-35^{\circ}\text{C}$  の温度上昇試験終了直後低温室外 ( $13^{\circ}\text{C}$ ) に出して加電した。

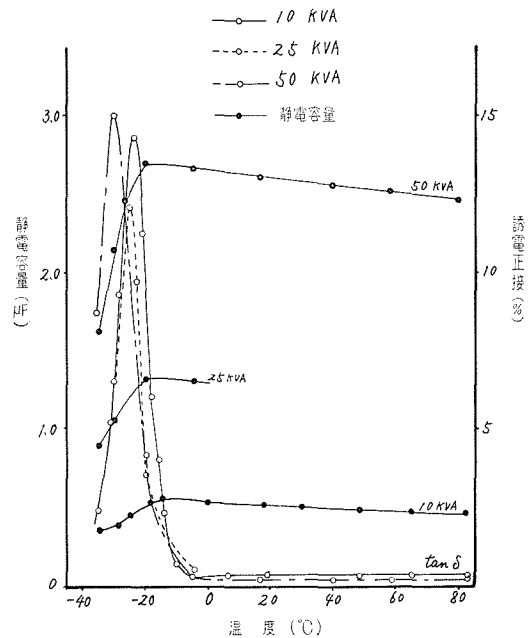
端子相互間 A.C 50 c/sec 10,000 V  
1 min 良好

端子一括と外箱との間 A.C 50 c/sec  
10,000 V 1 min 良好

#### (e) 衝撃電圧試験

前項の試験と同様、低温室外 ( $13^{\circ}\text{C}$ ) に出し、シンクロスコープにて波形を観測しながら衝撃電圧を加えた。

標準衝撃波 45,000 V 及び 60,000 V 各 3 回加電 結果良好



第 11 図 静電容量、誘電正接—温度特性曲線

## IV. 試験結果に対する考察

上述の試験結果に基づき、検討した処を次に記すことにする。

### (1) 温度上昇試験について

(a) 電圧調整器の容量不足のため、この実験は、25 KVA と 10 KVA について行なった。

(b) 25 KVA での外箱壁最高温度部は外箱の C 点(中心)であり、10 KVA での外箱壁最高温度部は第 1 図の点 5 の所であった。これは低温時には、内部において絶縁油の対流が殆んど行なわれないことを示すものである。

(c)  $-5^{\circ}\text{C}$ 、 $-20^{\circ}\text{C}$  及び  $-35^{\circ}\text{C}$  における 25 KVA の温度上昇特性は第 4 図～第 8 図に示

第 3 表

	25 KVA	10 KVA
- 5°C	10.4°C	7.0°C
-20	8.7	7.5
-35	13.2	9.5

したが、その定格負荷時の外箱壁の飽和温度値を第 3 表に示す。

また、10 KVA コンデンサの内部及び外箱壁温度値を第 12 図に夫々整理して示した。

すなわち、低温になると異常分散により誘電率は低下するが、 $\tan \delta$  は非常に大きくなり、結局、誘電体損の増加によってその温度上昇幅は、 $-35^{\circ}\text{C}$ 、 $-20^{\circ}\text{C}$ 、 $-5^{\circ}\text{C}$  の順で低温度程大きい事が見られた。ただ、第 3 表に見る如く、25 KVA の場合、 $-5^{\circ}\text{C}$  の時が、

$-20^{\circ}\text{C}$  の時よりやや大きくなっているが、これは、II 節 (2) の項に述べた如く、試験時刻が深夜に入ったため、第 5 調波を主とする高調波電流が大となり、波形観測から見て、多い時は 100% 以上にも達している事が見受けられ、その影響によると考えられる。

10 KVA の場合には、試験時刻を考慮し、この影響を除去して試験を行なった。

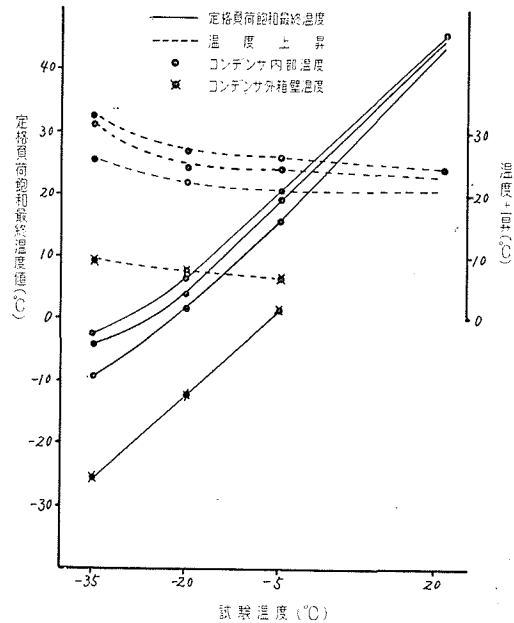
(d) 上記の如く、温度上昇の限度は JIS 規格<sup>2)</sup> の外箱の最高温度部における  $25^{\circ}\text{C}$  よりも十分に小さいのでこの点では問題はない。

(e) コンデンサの内部温度については、25 KVA コンデンサでは、内部に熱電対が挿入されていないので、正確な値は不明である。しかし低温負荷時の  $\tan \delta$  及び静電容量の測定値と、無負荷状態で長時間 (6 時間以上) 低温室に保った場合の上記測定値の比較から推定して  $-35^{\circ}\text{C}$  の低温負荷時には、 $0 \sim +5^{\circ}\text{C}$  の程度であると見られた。

10 KVA コンデンサの場合は、内部に予め熱電対が挿入されているので、直ちに内部温度が測定出来た。その結果によれば、 $-35^{\circ}\text{C}$  の低温負荷時には、内部で最高で、 $-2.5^{\circ}\text{C}$ 、最低で  $-9.7^{\circ}\text{C}$  であることが知られた。従って、これらの温度から見て、負荷状態では、いずれも、四塩化ジフェニールの  $\tan \delta$  の最大点を越えて、高温側にあることが明らかにされた。しかし、外壁では、最低  $-25^{\circ}\text{C}$  付近であるので、コンデンサ内部は、非常な温度の不均一状態にあることが明瞭である。

## (2) 誘電体力率 ( $\tan \delta$ ) について

(a) シバノールコンデンサ (四塩化ジフェニール入り) の無負荷時における  $\tan \delta$ —温度特



第 12 図 定格負荷飽和最終温度、温度上昇—温度特性曲線

性は第 11 図に示す如く、異常分散点附近で急激な変化を示すが、 $\tan \delta$  の最大値は、50 KVA 及び 25 KVA のものは  $-30^{\circ}\text{C}$  附近にあるようである。しかしこの場合は、コンデンサを長時間低温室に放置し内外の温度を同一なものとして測定を行なったが、測定点が少なく正確ではない。

10 KVA の場合は、実際にコンデンサ内部に熱電対を挿入し測定を行なったので、 $-24^{\circ}\text{C} \sim -25^{\circ}\text{C}$  という値は正確なものと考えられる。また、 $-35^{\circ}\text{C}$  に冷却したコンデンサに負荷をかけ、内部温度の上昇によって、 $\tan \delta$  が最大点を通過する状況を連続測定したが、約 1 分間で山を越すことを見出した。

(b) 同じく、 $\tan \delta$  の最大値は、50 KVA で 15%、25 KVA では 12% 程度であった。また 10 KVA では 14.3% が最大値である事を測定した。

(c) 連続負荷使用状態における  $\tan \delta$  の値については、各低温時の詳細な試験は行なわなかったが、 $-35^{\circ}\text{C}$  における負荷試験直後における値は、10 KVA コンデンサについて約 0.3% であり、他の温度及びコンデンサについても大体この前後にあるものと考えられる。

### (3) 静電容量について

無負荷時において、静電容量は温度低下につれて、第 11 図に示す如く、初めは徐々に増加しているが、 $-15^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$  を超えると、 $\tan \delta$  の急増と呼応して急に減少する。しかし、負荷状態では、内部温度上昇によって静電容量は再び元の域に戻るの、使用に対する問題はないと思われる。

また、低温時に急激にこのコンデンサを系統に投入する場合を考えても、低温による静電容量の著しい低下により、突入電流の低下を生ずるため絶縁及び保護継電方式には、却って好結果となると考えられ<sup>9)</sup>、何れにしてもこの種の機器使用に対する危惧は考えられない。

### (4) 絶縁抵抗試験について

絶縁抵抗試験における試験結果は、第 10 図に示されているが、 $\Omega\text{F}$  の値は大体  $-20^{\circ}\text{C}$  を最大として、低温側で再び減少して行く。これは前項の静電容量の減少が原因である。なお、 $-5^{\circ}\text{C}$  の端子一括大地間の絶縁抵抗がかなり小さい値を示し、この点において  $\Omega\text{F}$  の曲線に、やや不整が見られるが、これは、低温室外で測定した際、套管碍子表面に空気中の湿度のため水滴が凝結し、漏洩電流が増加したためと考えられる。

### (5) 衝撃電圧試験について

シンクロスコープで波形を観察しながら測定を行なったが、問題となるような点は認められなかった。

### (6) 絶縁耐力試験について

この場合も同様に異常な点は認められなかった。

## V. 結 言

合成絶縁油を使用した電力用コンデンサを冬期寒冷地で使用する場合に危惧される問題点につき、四塩化ジフェニール含浸の 50, 25, 10 KVA の各種高圧用電力コンデンサについて試験研究を行なった。特に、コンデンサ内部に熱電対を挿入したものを試作し、常温から  $-35^{\circ}\text{C}$  の低温にわたって試験し検討した結果、低温におけるこの種のコンデンサの挙動が明確になり一応その使用には難点がないという結論に達した。

すなわち、この種のコンデンサの定格負荷時の温度上昇は周囲温度が  $-35^{\circ}\text{C}$  においても、それより  $32.5^{\circ}\text{C}$  程度の上昇にすぎず、また外箱壁温度も  $10^{\circ}\text{C}$  程度の上昇を示すにすぎない。また負荷時のコンデンサ内部の温度は、周囲温度  $-35^{\circ}\text{C}$  の場合でも、最低部で約  $-10^{\circ}\text{C}$ 、最高部ではコンデンサによって  $-5\sim+5^{\circ}\text{C}$  の範囲にあり、従って、塩化ジフェニール特有の低温時の  $\tan\delta$  が急増点以下にあるため、実際使用上も支障なく、このための高圧コンデンサ破壊のおそれもないことが明らかにされた。

また、同様に静電容量も負荷時には、きわめて変化の少ない範囲にあること、その他、絶縁抵抗、衝撃電圧及び絶縁耐力試験についても異常は認められないことを確めたものである。

最後に、本研究は、昭和 36 年及び 37 年度文部省科学試験研究費の補助を受け、本学電気工学科、小池教授、合成化学工学科、高田教授の御協力を御て行なわれたものであり、また、熱電対挿入高圧用コンデンサの試作及び試験の一部については、東京芝浦電気株式会社三重工場、竹内平一氏、山田嘉雄氏の御協力をいただいた。ここに記して厚く感謝の意を表わす次第である。

## 引 用 文 献

- 1) 上之園・小林・河村・神山：電力技研報告 (昭和 32. 1).
- 2) JIS C 4902：進相用高圧及び特別高圧コンデンサ試験.
- 3) 坂本・竹内：昭和 36 年度電気四学会連合大会 (II-639).
- 4) 坂本・田頭・金子・村松・沢田：昭和 37 年度電気四学会北海道支部大会 (A-1).
- 5) 小池・宮田・日向：昭和 37 年度電気四学会北海道支部大会 (A-2).
- 6) 北川・大森：最新電力用蓄電器 (1952).
- 7) 東芝レビュー：10, 52 (1955-1).
- 8) W. Held, K. Wenzel：Arch. für Technisches Messen, 181 (1960-9).