

# 不燃液体の基礎特性

## Basic Characteristics of Non-inflammable Liquid

小松 巖<sup>\*</sup>  
Iwao Komatsu  
内田 哲雄<sup>\*</sup>  
Tetsuo Uchida

One of the recent social and environmental themes surrounding substations is the prevention of a functional failure attended by fire in the substation and the check of spread of fire to neighbouring buildings.

The purpose of this development was to break through the limitation of the mineral oil transformer, which is the main current at present and is susceptible to fire. Our goal was to develop a new transformer filled with liquid of a completely non-inflammable nature and having better cooling capacity. We selected ethylene tetrachloride as the coolant to meet our objective.

Prior to the development, we investigated basic characteristics such as physical properties, flammability, electrical characteristics, cooling capacity, influence on transformer structural materials, etc. Results of this investigation proved that the present mineral oil transformer technology was adequate. We proceeded to manufacture a non-inflammable liquid-immersed transformer, 3 phase, 77 kV, 2000kVA. We tested the prototype transformer in terms of environmental safety, cooling characteristics, insulating capacity, etc., concluding that the design has potential for practical applications. We continued to strive for increased capacity and successfully developed the 10000 kVA transformer.

## 1 まえがき

油入変圧器の内部故障に伴って発生する災害は、設備の信頼性向上、故障の早期除去方式の採用等の防止策により極めて起こり難くなっている。また、万一火災に遭遇しても消火設備の整備により局所的となり、周囲に影響を与えるような火災に進展することは殆どないと言える。しかし、最近の変電所を取り巻く環境変化は目まぐるしく、火災拡大による変電所機能喪失時の社会的影響の重大性、変電所隣接建物への火災波及防止等を配慮することが極めて重要な課題になっている。

このような要求に対処するため、過去にはポリ塩化ビフェニル (PCB) 絶縁変圧器が採用されたこともあるが、環境汚染問題が生じたため現在では使用禁止となっている。その後、エポキシ樹脂モールド変圧器が使用されているが、高電圧・大容量化への技術的困難性と経済性の面から適用範囲が限定されており、かつ難燃性である。

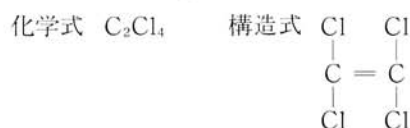
最近は不燃変圧器として、SF<sub>6</sub>ガス絶縁変圧器が実用化されているが、SF<sub>6</sub>ガスは気体であるため冷却性能が悪く、この冷却性能の改善に苦慮している。この問題を解決するものとして、完全不燃で、冷却性に優れている不燃液体、四塩化エチレンを採用することとした。そこで昭和60年よりこの不燃液体の物性、不燃性、電気特性、変圧器材料への影響、冷却性能等の基礎性状試験を行い、変圧器に適用できる見通しを得た。昭和61年には3相、77kV、2000kVAのモデル変圧器を試作して、長期課通電試験により実用性の検証を行ってきた。これらの結果を踏まえ、今回更に容量アップした3相、77kV、10000kVAの変圧器を試作した。

以下、不燃液体の基礎性状並びに試作器の概要を紹介する。

## 2 不燃液体(四塩化エチレン)の特性

### 2.1 不燃液体(四塩化エチレン)とは

不燃液体は塩素 (Cl) とエチレン (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) を高温で塩素化反応させ、熱分解、急冷等の精製過程を経て製造した四塩化エチレン (別名パークロルエチレン、パークレン) のことで、無色、低粘度で引火点のない性質を有する既存化学物質\*で、ドライクリーニング、医薬品、香料などに使用されている。



\*通産省発行「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」に基づく、製造、輸入が承認された物質

### 2.2 基礎特性

#### (1) 物理・化学特性

表1に不燃液体と鉱油系電気絶縁油 (以下鉱油という) との物性値を示す。

不燃液体は成分に水素が含まれていないため、引火点のないのが最大の特長である。

また、熱膨張係数が鉱油の約1.4倍 (50℃)、動粘性係数が約1/12 (50℃) であるため、熱による対流性が

表 1 / 不燃液体の物性値

Tab. 1/Physical characteristics of non-flammable liquid

項目 種別	組成	密度 kg/m <sup>3</sup>	動粘性係数 ×10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s	膨張係数 ×10 <sup>-3</sup> /℃	比熱 J/g℃	熱伝導率 W/m℃	沸点 ℃	流動点 ℃	引火点 ℃
不燃液体	四塩化エチレン	1573	0.42	1.07	0.937	0.112	121	-19.5	なし
鉱油	J I S I 種 2 号	858	5.10	0.75	1.975	0.130	280~350	-27.5	148

(注) 50℃の値

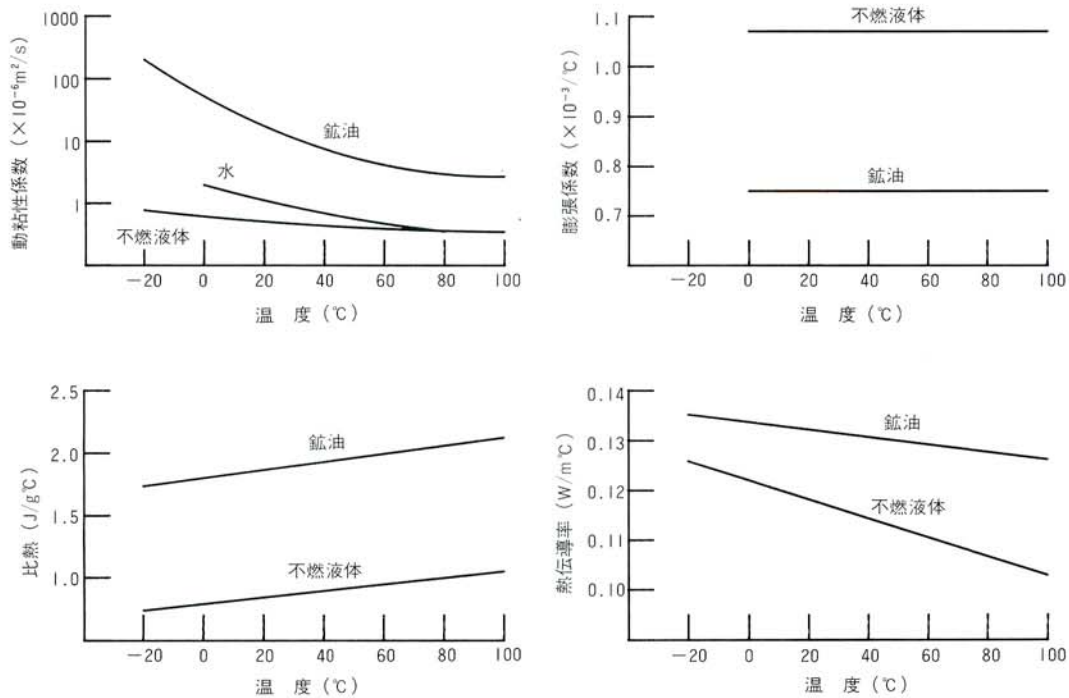


図 1 / 不燃液体物性値の温度特性

Fig. 1/Temperature dependence of physical characteristics

極めて高く、総合的には熱伝達率が大きくなって高い冷却性能を示す。

反面、沸点は121℃で鉱油の1/2.5~1/3程度と低いので、高温時の微気泡に注意を要する。また、流動点は鉱油より高いが、-20℃前後まで適用でき実用上は支障がない。ただし、不燃液体の密度は、鉱油の1.8倍(50℃)あるため重量は大きくなる。

化学特性については、色相(+30)、全酸価(0.01 mgKOH/g以下)、腐食性(非腐食性)、水分(20mg/kg以下)等は鉱油と同様である。

図 1 に不燃液体及び鉱油の主な物性値の温度特性を示す。

(2) 不燃性

鉱油の燃焼試験方法に準拠し、ガラステープ法(JIS)、トラフ法・スプレーミスト法・プールファイア法(米国)及び酸素指数法(IEC)によって、大阪市立工業研究所で燃焼性試験を行い、いずれの試験方法においても着火せず、引火点のないことを検証した。また、大阪消防庁よりも引火点なしの検査結果(S60.6.4)を得ている。

図 2 に、液体が密閉容器内から急激に噴出した状態

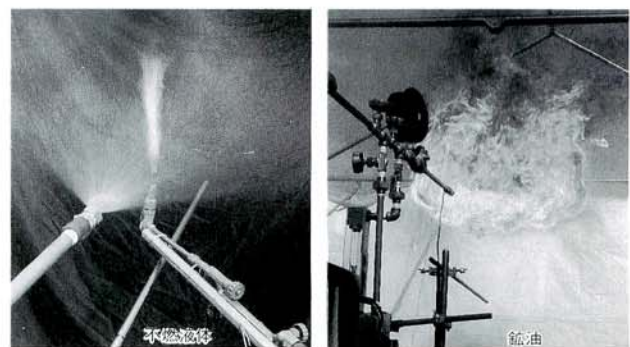


図 2 / スプレーミスト法による燃焼性特性

Fig. 2/Combustibility test by spray-mist method

を模擬したスプレーミスト法による燃焼性試験状況の例を示す。

(3) 電気特性

① 交流絶縁破壊電圧

不燃液体の交流破壊電圧は、常温においては鉱油と同等であるが、液温の上昇とともに若干低下の傾向を示している。また、液中水分が多くなると、その影響を受けて破壊電圧が低下する傾向にある。

更に、液温上昇や局部過熱により部分的に高温部

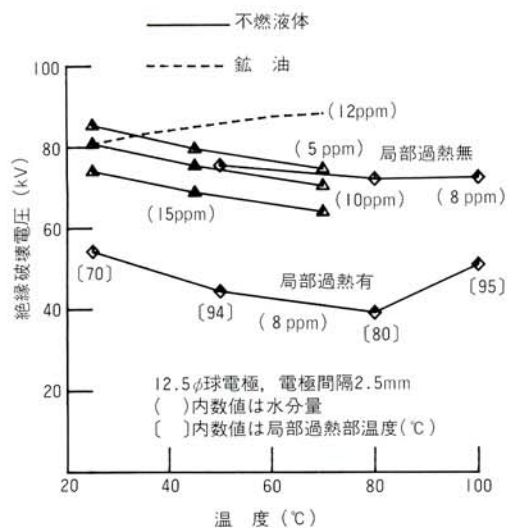


図3 / 交流絶縁破壊電圧特性  
Fig. 3/AC voltage breakdown characteristics

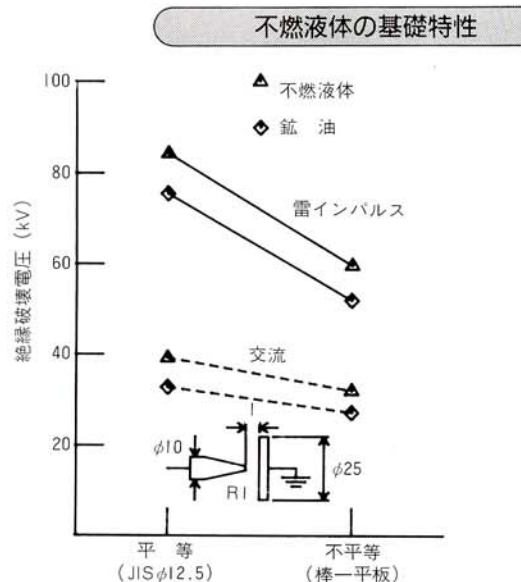


図5 / 平等・不平等電極絶縁破壊電圧特性の比較  
Fig. 5/Comparison of breakdown voltage under uniform and nonuniform electrode

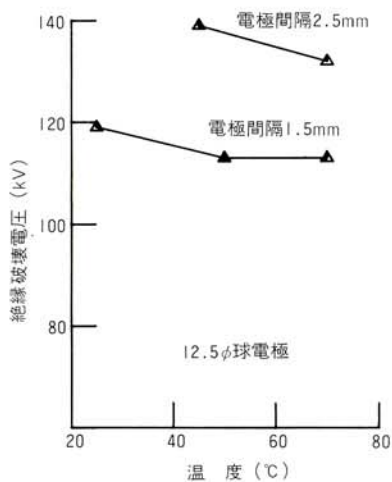


図4 / 雷インパルス絶縁破壊電圧特性  
Fig. 4/Impulse voltage breakdown characteristics

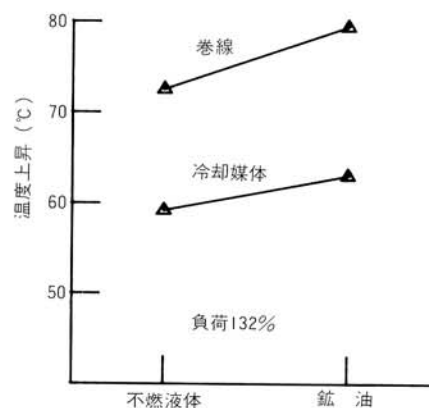


図6 / 冷却特性の比較  
Fig. 6/Comparison of cooling characteristics

ができると、沸点が低いので発泡現象を生じて絶縁耐力が低下する傾向がある。

図3に交流絶縁破壊電圧特性を示す。

② 雷インパルス絶縁破壊電圧

標準雷インパルス電圧 (1.2/50μs) による絶縁破壊電圧は、鉱油の破壊電圧と同様、液温上昇に伴い若干低下する傾向にある。

図4に雷インパルス絶縁破壊電圧特性を示す。

③ 平等・不平等電極絶縁破壊電圧

不燃液体と鉱油の絶縁破壊電圧は、交流及び雷インパルス共に不燃液体の方が高い値を示す。

図5に平等・不平等電極絶縁破壊電圧特性を示す。

(4) 冷却特性

モデル変圧器 (単相, 6600/210V, 10kVA×3台) を

使用して、等価負荷法で132%の負荷による温度上昇試験を行い、不燃液体と鉱油とを比較すると、巻線、冷却媒体ともに不燃液体の方が温度上昇は低くなった。図6にこれら冷却特性の比較を示す。

(5) 変圧器材料への影響

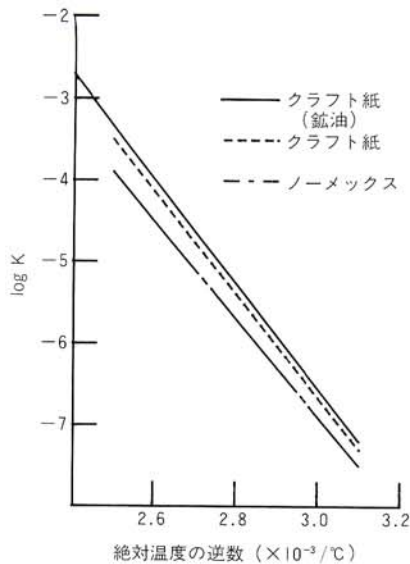
① シール材

不燃液体 (四塩化エチレン) は溶剤性を有しているため、現在、鉱油に用いられているコルク入りゴム (ハイカコルク) は使用できず、代りにふっ素ゴムを使用する。

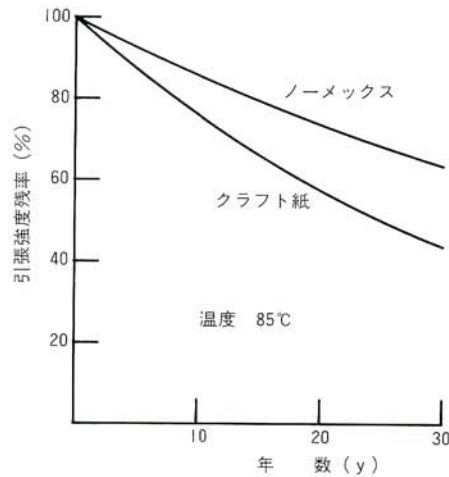
② 接着剤

接着剤は天然有機材料のカゼイン並びにエポキシ系の耐溶剤性の良いものを使用する。

③ 導体, 絶縁紙, 鉄心等の主要構成材料



(a) アルレニウスプロット



(b) 引張強度残率

図7/絶縁紙引張強度残率

Fig. 7/Remainder rate of tensile strength

上記以外の変圧器構成材料である銅線、絶縁紙、けい素銅板、鉄板等は鉱油と同一の材料が使用できる。

(6) 絶縁紙の寿命特性

不燃液体にクラフト紙及び耐熱絶縁紙（ノーマックス）を浸し、経年高温状態におくと絶縁紙の引張強度は減少する。そこで、95°C～120°Cの高温加熱試験より得た絶縁紙の引張強度残率の経日変化を求めてから絶縁紙の引張強度減少速度の反応速度定数Kを得る。

$$K = \frac{2.303}{t} \log \frac{C_0}{C_t}$$

ただし、 $C_0$ ：初期値

$C_t$ ： $t$ 時間後の引張強度残率

更にアルレニウス（Arrhenius）の式を用い、低温での反応速度定数から経年変化量を求めた。その結果巻線被覆絶縁紙の引張強度残率は、85°C、運転年数30年相当において、クラフト紙（真空処理）で44%、ノーマックスが63%を有していることが推定される。このことからコイル絶縁紙にノーマックスを用いれば、不燃液体に対して十分寿命が確保できる。

図7に経年の絶縁紙引張強度残率を示す。

### 3 モデル機による諸特性

#### 3.1 77kV、2000kVAモデル機の試作

変圧器内部故障時の環境安全性、冷却特性、絶縁特性並びに変圧器内部故障時の内圧特性を把握するため、不燃液体を使用した、3相、60Hz、77/6.9kV、2000kVAのモデル変圧器を、現行の油入変圧器に準じた絶縁及び冷却構造で試作した。特に、絶縁設計に際しては、主絶

表2/2000kVA変圧器の仕様

Tab. 2/Specification of 2000kVA transformer

形 式	自冷式
相 数	三相
定 格 容 量	2000kVA
定 格 電 圧	一次 77000V 二次 6900V
絶 縁 階 級	一次 70号 二次 6A号
絶 縁 種 別	A種
騒 音	55ホン
損 失	負荷損 17150W 無負荷損 3940W
重 量	総重量 11400kg
寸 法	幅2.55×奥行2.46×高さ2.95m

縁部分の電界分布とその強さを電界解析プログラム（MAGNA/FIM, CRC社）により計算し、変圧器の絶縁設計に反映した。

また、冷却性能の良いことから放熱器面積は、油入変圧器より数10%少ないこと、コンサーバータ方式に替えて変圧器上部に気相空間（液体量の約15%）を設けて窒素封入する構造とした点等が特長である。

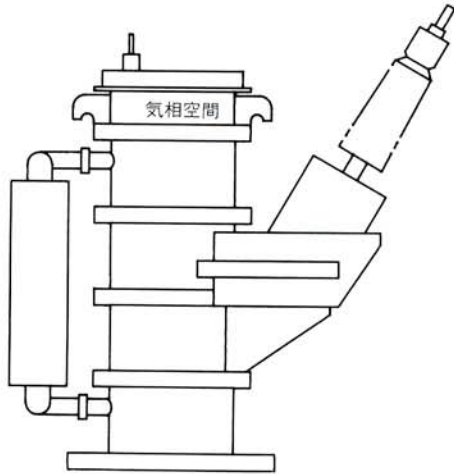
表2に不燃液体冷却変圧器の仕様を、図8に不燃液体冷却変圧器と油入変圧器との外観比較をそれぞれ示す。

#### 3.2 諸特性・性能

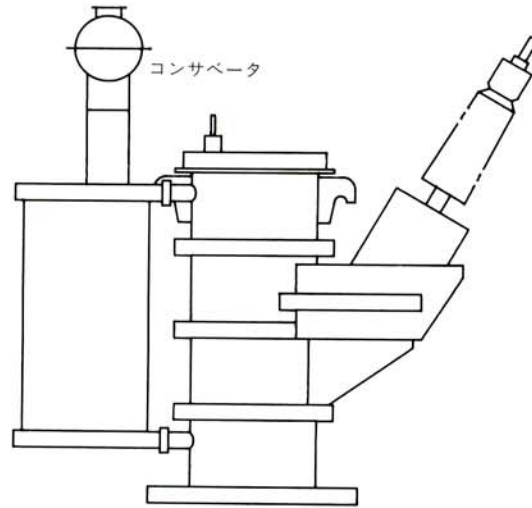
(1) 環境安全性

不燃液体の常温での環境性は問題ない。しかし、変圧器内部の短絡故障に伴う高温アーク中において分解ガスを発生する。この分解ガスによる影響を試験し問題のないことを検証した。

試験方法は、モデル変圧器のタンク内部に模擬電極を作り、短絡発電機により最大1130kJ（4kA、1s）のアーク放電を発生させた。この場合、液体中の酸素や水分と四塩化エチレンとが関与して、主として下記



(a) 不燃液体冷却変圧器



(b) 油入変圧器

図8/外形比較

Fig. 8/Comparison of outline

表3/変圧器室内分解ガス換算濃度

Tab. 3/Resolved gas concentration converted to transformer room

	変圧器設置室 分解ガス濃度	EEL (5分間)	ACGIH (8時間)	日 本
塩化カルボニル	0.04	5	0.05	0.1
塩 素	0.25	30	1	1
塩 化 水 素	0.50	200	5	5
一 酸 化 炭 素	8.03	—	50	50

単位  
volume  
ppm

EEL: 短時間曝露限度で人間に対して5分間許容出来るガス濃度  
ACGIH: 長時間曝露限度で1日、8時間、1週、40時間、人間に曝露されても健康障害を起こさないガス濃度  
日 本: 日本産業衛生学会「許容濃度等の動告値(1977)」

の分解ガスが発生する。



この内、塩化カルボニル(COCl<sub>2</sub>)の濃度は、変圧器気相(容積0.645m<sup>3</sup>)中において、2ppmであった。実際の系統では6750kJ(15kA, 0.1sで最悪時のリード出口部間アークを想定し、3375kJ×2とした)を見込み、更に変圧器室(容積6m×6m×6m=216m<sup>3</sup>)曝露を考慮して換算すると、0.04ppmとなる。他の分解ガスについても同様に換算することができる。

表3に変圧器室内における各分解ガスの換算濃度を示す。

この分解ガスの室内拡散濃度は、米国工業衛生協会(EEL)、米国産業衛生専門官会議(ACGIH)及び日本産業衛生学会で定められている値より著しく少ないので、環境安全性は十分確保できる。

(2) 冷却特性

① 巻線の温度上昇

モデル変圧器(2000kVA)を用いて、不燃液体及びSF<sub>6</sub>ガスの2つの冷却媒体について温度上昇試験を行った。その実測値から不燃液体冷却変圧器巻線の熱伝達率は、SF<sub>6</sub>ガス絶縁変圧器の8.5倍、油入変圧

器の2倍となり、冷却特性が優れている。

巻線の温度上昇は次式によって計算される、

$$\text{巻線の温度上昇} = \frac{\text{損 失}}{\text{熱伝達率} \times \text{冷却面積}}$$

一例として熱伝達率αが次式で表されるものとするば

$$\alpha = C_1 \left( \frac{g\beta\theta h^3}{\nu^2} \times \frac{c\gamma\nu}{\lambda} \right)^{1/3} \cdot \frac{\lambda}{h}$$

$$= C_2 \left( \frac{\beta c \gamma \theta}{\nu} \right)^{1/3} \cdot \lambda^{2/3} \text{ [W/m}^2\text{C]}$$

ただし、C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>:定数

g: 重力の加速度 [m/s<sup>2</sup>]

β: 膨張係数 [1/°C]

θ: 温度上昇 [°C]

ν: 動粘性係数 [m<sup>2</sup>/s]

h: コイルの高さ [m]

c: 比 熱 [J/kg°C]

γ: 密 度 [kg/m<sup>3</sup>]

λ: 熱伝導率 [W/m°C]

表1の物性値を使って、単位温度上昇における鉱油の熱伝達率α<sub>0</sub>[W/m<sup>2</sup>C]と不燃液体の熱伝達率α[W/m<sup>2</sup>C]との比kを求めると、

$$k = \frac{\alpha}{\alpha_0} = \left( \frac{\beta}{\beta_0} \times \frac{c}{c_0} \times \frac{\gamma}{\gamma_0} \times \frac{\nu_0}{\nu} \right)^{1/3} \times \left( \frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^{2/3} = 2.2 \text{ [倍]}$$

となる。すなわち膨張係数(β)が大きく、動粘性係数(ν)の低い不燃液体は、鉱油の約2倍の熱伝達能力があり、実測値とはほぼ一致する。

表4に各冷却媒体の巻線熱伝達率を示す。

② 不燃液体及び巻線の温度勾配

モデル変圧器(2000kVA)の等価負荷試験結果か

ら、不燃液体の流速はケース面で2cm/s、コイル面で4cm/sあり、鉱油の流速1cm/sに対して2倍以上となるため、液体上下の温度勾配は小さくなる。

したがって、不燃液体冷却変圧器の巻線と液温との温度上昇の差は5℃程度となり、鉱油と比較して10℃程度低くなる。

図9にモデル変圧器の不燃液体温度勾配を、図10にモデル変圧器の巻線温度勾配比較をそれぞれ示す。

表4/各冷却媒体の巻線熱伝達率

Tab. 4/Winding heat transfer coefficient of cooling media

冷却媒体	巻線熱伝達率 [W/m <sup>2</sup> ℃]	備考
不燃液体	170	100%負荷
SF <sub>6</sub> ガス*	20	54%負荷
鉱油**	85	

\* 不燃液体用に試作したモデル変圧器にSF<sub>6</sub>ガスを充填した試験値を示す。  
\*\* モデル変圧器試験のデータでなく一般の設計値を示す。

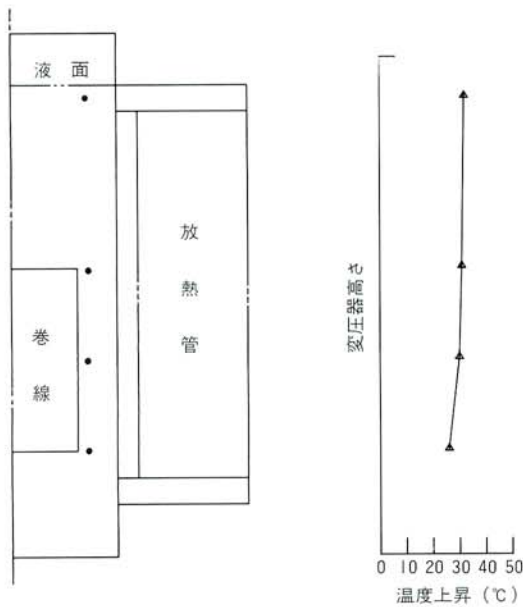


図9/不燃液体温度勾配

Fig. 9/Temperature gradient of non-inflammable liquid

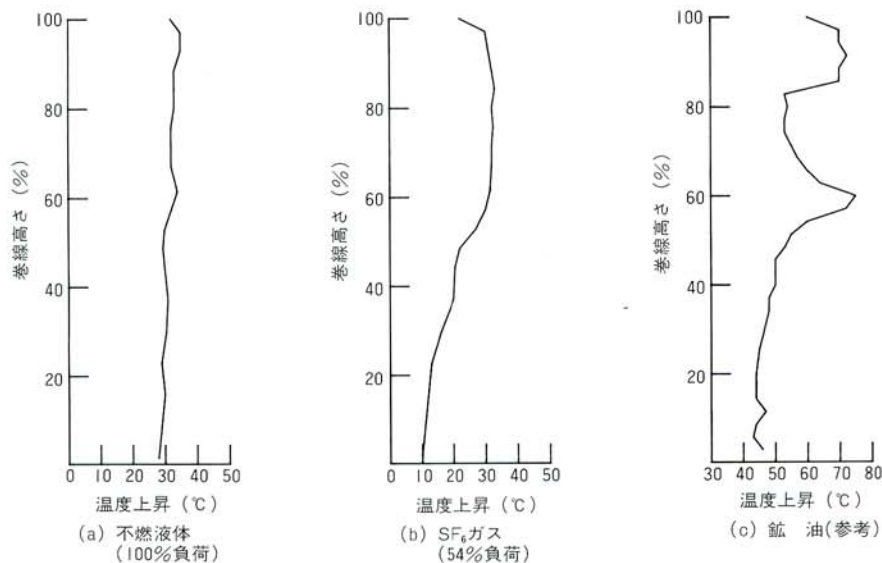


図10/巻線温度勾配比較

Fig. 10/Comparison of winding temperature gradient

(3) 絶縁性能

① 長時間課通電による絶縁性能検証

モデル変圧器 (2000kVA) を用い、等価負荷電流 (液温70℃基準) による熱的ストレスを16時間、常規運転対地電圧の1.3倍の60.4kV (80.5kV/√3 × 1.3) による電圧ストレスを8時間交互に6箇月間課通電試験を行い、試験前後における電気・絶縁性能 (巻線抵抗, 鉄損, 銅損, 交流耐電圧, 雷インパルス耐電圧等) 及び液体物性値 (体積抵抗率, 誘電体損失角, 水分, 酸価, 絶縁破壊電圧等) について試験し、長期的な信頼性, 実用性が検証できた。

② 雷インパルス絶縁破壊性能 (安全率)

長期課通電試験後, 標準雷インパルス電圧 (1.2/50μs) による破壊試験を行った。その結果, 破壊電圧は520kVで, LIWL (Lightning Impulse Withstand Level) 400kVに対して設計値と同一の1.3倍であった。

③ 変圧器の分解調査及びモニタ資料による性能

全ての性能検証試験終了後, 変圧器の絶縁材料等の構成材料を目視により分解調査したが良好であった。

一方, 変圧器内部の3箇所にあらかじめセットしたモニタ用の絶縁紙やプレスボードを採取して引張強度試験を実施したが, 全て良好であった。

(4) 変圧器内部故障時の圧力特性

① アーク発生時の圧力特性

2000kVAモデル変圧器タンク内短絡アーク試験によって得られた圧力特性は, 油入変圧器に認められるような残圧特性がなく, 数Hzで終了する特性となる。

これは, 短絡アークエネルギーによって, 近傍の液体が蒸気化し, 気相部分に移るが, すぐに冷却液

化されて元に戻る。また一部は分解、ガス化するがこの大部分は液中に溶解される。したがってエネルギーが供給されている間は、この現象が繰り返されるが、エネルギー供給が絶たれると同時に、圧力上昇もなくなるためであると考えられる。

② 内部故障時の圧力上昇と保護協調

変圧器の内部故障には高圧側相間短絡、低圧側相間短絡、全タップ短絡、1ターン短絡があり、アークエネルギーはモデル変圧器による試験結果から高圧側相間短絡が最も大きく、1ターン短絡が最も小さい値となる。

保護協調については、アークエネルギーの大きい内部短絡時は勿論のこと、アークエネルギーの小さい1ターン短絡時においても応答できる特性の動圧リレーが要求される。これに対応できる動圧センサ(米国パイロメーター社製、0.33gf/cm<sup>2</sup>、応答周波数20kHz)の圧力保護特性を試験し、1ターン短絡時のアークエネルギー0.007kJ/ℓで0.035kgf/cm<sup>2</sup>/sの圧力上昇に対し十分動作できることを検証した。

図11にアークエネルギーとタンク圧力上昇の関係、表5に故障の種類とアークエネルギー、圧力上昇との関係をそれぞれ示す。

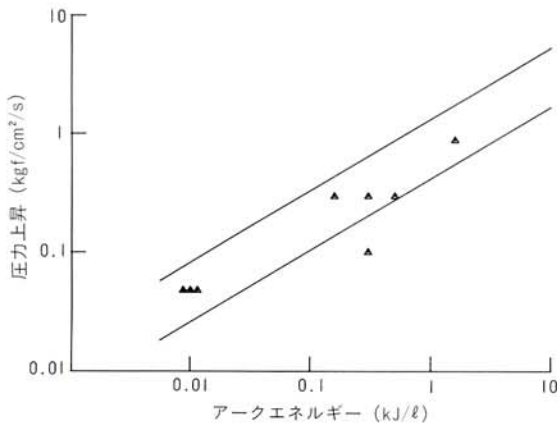


図11/アークエネルギーとタンク圧力上昇の関係  
Fig. 11/Relation between arc energy and tank pressure rise

表5/故障の種類とアークエネルギー圧力上昇  
Tab. 5/Arc energy and pressure rise related to kind of fault

	アーク電圧 V	アーク電流 kA	Q <sup>2</sup> /t kJ/s	故障継続時間 s	アークエネルギー		圧力上昇 kgf/cm <sup>2</sup> /s
					kJ	kJ/ℓ	
高圧側相間短絡	2500	15.0	33750	0.1	3375	0.420	0.4
全タップ短絡	250	8.0	1800	0.1	180	0.022	0.07
1ターン短絡	30	21.1	570	0.1	57	0.007	0.035
低圧側相間短絡	1000	11.4	10260	0.1	1026	0.128	0.2

備考：不燃液体量を8000ℓとした。

## 4 実機による諸特性

### 4.1 77kV, 10000kVA実機の試作

(1) 仕様

以上の基礎データに基づいて、容量アップした77kV, 10000kVAの実機を現行の油入変圧器に準じて試作した。

現行の油入変圧器と比べて異なっているのは、絶縁・冷却媒体に四塩化エチレンの不燃液体を、巻線被覆に引張強度残率の大きいノーメックスを、シール材にふっ素ゴム等をそれぞれ使用した点である。

表6に仕様を、表7に不燃液体冷却変圧器と油入変圧器との比較をそれぞれ示す。また、図12に不燃液体冷却変圧器(77kV, 10000kVA)の外観を示す。

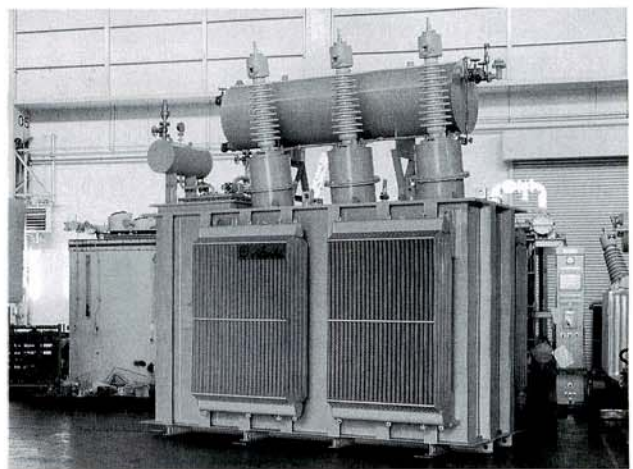


図12/不燃液体冷却変圧器外観  
Fig. 12/View of non-inflammable liquid-immersed transformer

表6/10000kVA変圧器の仕様  
Tab. 6/Specification of 10000kVA transformer

形 式	屋外用不燃液体入自冷式、負荷時タップ切換装置付	
相 数	3相	
周 波 数	60Hz	
定 格 容 量	10000kVA	
定 格 電 圧	1次 75250V	2次 6750V
絶 縁 階 級	1次 70号	2次 6A号
絶 縁 種 類	A種	
絶 縁・冷 却 媒 体	四塩化エチレン (C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> )	

表7/不燃液体冷却変圧器と油入変圧器の比較

Tab. 7/Comparison of non-inflammable liquid-immersed and oil-immersed transformers

項 目	不燃液体冷却変圧器	油 入 変 圧 器
冷 却 媒 体	不燃液体	鉱 油
絶 縁 材 料	四塩化エチレン	JISC2320 1種2号
	ノーメックス	クラフト紙
	プレスボード	プレスボード
巻 線	冷 却 寸 法	小(動粘性係数小)
	素 線 被 覆	平角銅線
	素 線 被 覆	ノーメックス
付 属 品	コンサベータ	窒素密封式(液体量の15%)
	圧力継電器	瞬時動圧センサ
	シール材	ふっ素ゴム
		主としてハイカーコルク

## (2) 絶 縁

不燃液体冷却変圧器に採用する主絶縁構造の絶縁破壊強度は、3.2項で述べたように520kVでLIWL400kVの1.3倍であった。

また、主絶縁の電界分布を電界解析プログラムにより解析した結果、LIWLの400kVに対して、高圧側は高圧コイル端部において最大値17.2kV/mm、静電板絶縁被覆表面において最大値17.9kV/mmの電界の強さである。低圧側は低圧コイル端部において最大値16.9kV/mmである。

この電界解析結果とモデル試験結果を設計に採り入れた。

図13に77kV、10000kVA不燃液体冷却変圧器の電界分布を示す。

## (3) 冷 却

### ① 冷却性能

現行の油入変圧器に準じて設計した不燃液体冷却変圧器の温度上昇試験の結果より、その冷却性能を油入変圧器（防音壁付）と比較すると、巻線と平均油（液）温との差は、不燃液体冷却変圧器で7℃～8℃、油入変圧器で17℃～18℃あり、不燃液体は動粘性係数が鉱油の1/12（50℃）と小さいことから自然対流速度が大きく、巻線温度と平均油（液）温との差が鉱油と比べて10℃程度低くなる。

また、冷却性能を評価する熱伝達率（W/m<sup>2</sup>℃）については、温度上昇試験結果より不燃液体冷却変圧

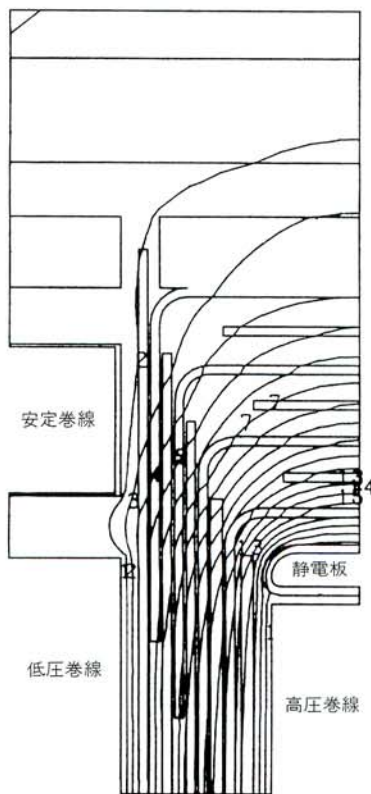


図13/電界分布  
Fig. 13/Field strength contour map

器は油入変圧器の約1.8倍と大きく2000kVAモデル変圧器の特性にほぼ近い値である。

表8は冷却性能の比較を示す。

### ② 放熱器面積・据付面積

冷却性能の優れていることから放熱器の放熱面積は、現行の油入変圧器に対して約60%と小さくなる。これに伴い放熱器のバンク数は、現行油入変圧器の7バンクから4バンクに減少できる。その取付け方向もタンク壁面と平行にできて全体の据付面積は約75%と小さくなる。

## (4) 外 装

### ① 総重量

総重量は不燃液体の比重が1.6と大きいため、油入変圧器より約30%程度重くなる。

### ② シール材

シール材としてのパッキンはふっ素ゴムを使用する。

### ③ 放圧装置

不燃液体冷却変圧器の内部短絡事故時の内圧特性は、分解ガスによる瞬時動圧で、残圧特性がないため放圧装置は不用となる。

### ④ 保護装置

保護装置については現行の油入変圧器の機械式検出器が使用できず、瞬時動圧センサによる電気式の動圧検出器を使用する必要がある。

### ⑤ コンサベータ

コンサベータは窒素密封式とし、液体膨張と蒸気圧分を液量の15%の体積で吸収できる。

## 4.2 長期課通電試験による実用性能の検証

現在、温度上昇の熱的ストレスによる6箇月間の高温加熱劣化促進試験により、運転年数30年に相当する劣化度を検証中である。また、引続き電圧ストレスによる3箇月間の絶縁劣化促進試験等を予定している。

表8 / 冷却性能の比較

Tab. 8/Comparison of cooling effects

		不燃液体冷却変圧器	油入変圧器 (防音壁付)
損 失 [W]	負 荷 損	45700	53200
	無 負 荷 損	11000	10200
	計	56700	63400
冷 却 器 面 積 [m <sup>2</sup> ]		234 (ラジエータ) (41m <sup>2</sup> ×4本)	318 (ラジエータ) (41m <sup>2</sup> ×7本)
温度上昇(℃)	最 高 油(液) 温	44.0	42.0
	平 均 油(液) 温	38.8	35.5
	高 圧 巻 線	47.0	52.4
	低 圧 巻 線	45.7	53.5
熱伝達率 [W/m <sup>2</sup> ℃]	冷 却 器	5.5	4.8
	巻線(高圧)	153.9	86.6

## 5 あとがき

今回、不燃液体（四塩化エチレン）の基礎性状を調査の結果、ほぼ現行の油入変圧器の技術で対応できることが明らかになった。

この不燃液体を用いて3相、77kV、2000kVAのモデル変圧器を試作した。この試作変圧器で環境安全性、冷却特性、絶縁性能等について試験し十分実用できる見通しを得たので、10000kVAの実機を試作し、実用性能の検証を行っている。

最後に、この開発に際して御指導、御協力戴いた㈱関西テックの関係各位に対し、深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1) 内田他、不燃液体冷却変圧器の液体性状  
S60 静止機器研究会資料(SA-85-69)
- (2) 不燃絶縁液体(技術解説) 愛知電機技報No.4 S62

## 最近公開された愛知出願

### 特許

公開番号	名 称	発 明 者	共同出願人
I-4791	送風機の風量表示装置	立松 聡	
I-12831	無停電電源装置	佐藤 徹	
I-58336	加熱装置付混合機及びその制御装置	新美 正明 伊藤 利行	
I-72516	鉄心鋼帯の巻回方法	廻間 正樹	
I-81664	サイリスタ整流装置	佐藤 徹 丹羽 裕彦	
I-90383	電動引戸装置	法月仙一郎 大橋 政紀	トーヨーサッシ(株)
I-121020	シートカバー付便座	山本 修 野々村勝巳	東陶機器(株)
I-121021	シートカバー付便座	山本 修 野々村勝巳	東陶機器(株)
I-121484	電動引戸装置	山本 修	トーヨーサッシ(株)
I-129818	シートペーパー供給装置付便座	野々村勝巳	東陶機器(株)
I-135321	シートペーパー供給装置付便座	山本 修 野々村勝巳	東陶機器(株)
I-175820	シートペーパーの自動繰出制御装置	太田 久義 藤井 庄吉	東陶機器(株)
I-192322	シートペーパー自動供給便座	野々村勝巳 山下 直治	東陶機器(株)
I-195821	シートペーパー自動供給便座	太田 久義 山下 直治	東陶機器(株)
I-195822	シートペーパー自動供給便座	太田 久義 野々村勝巳	東陶機器(株)

公告番号	名 称	発 明 者	共同出願人
I-201218	シートペーパー自動供給便座	藤井 庄吉 山下 直治	東陶機器(株)
I-204628	シートペーパー自動供給便座	太田 久義	東陶機器(株)
I-207024	シートペーパーの自動繰出制御装置	太田 久義	東陶機器(株)
I-209030	シートペーパー自動供給便座	藤井 庄吉 野々村勝巳	東陶機器(株)
I-212521	シートペーパー自動供給便座	藤井 庄吉 山下 直治	東陶機器(株)
I-214291	同期モーターの起動装置	安田 徹	
I-214321	シートペーパー自動供給便座	山本 修 太田 久義	東陶機器(株)
I-214322	シートペーパー自動供給便座	太田 久義 山下 直治	東陶機器(株)
I-214323	シートペーパー自動供給便座	太田 久義 野々村勝巳	東陶機器(株)
I-218420	シートペーパー自動供給便座	山本 修 藤井 庄吉	東陶機器(株)
I-218421	シートペーパー自動供給便座	藤井 庄吉 野々村勝巳	東陶機器(株)
I-265984	電動バチンコの打球装置	望月浩一郎 安藤 幸彦	
I-285230	シートペーパー自動供給便座	山下 直治	東陶機器(株)
I-300972	電動バチンコの打球装置	山本 修 望月浩一郎	
I-303116	シートペーパー自動供給便座	藤井 庄吉 山下 直治	東陶機器(株)