

# 新形防災コンデンサの開発

## Development of the New Non-flammable Power Capacitor

板橋 悟\*  
S. Itahashi

神庭 勝\*  
M. Kamba

菅沼 紀美夫\*  
K. Suganuma

田中 義久\*\*  
Y. Tanaka

### Synopsis

Some kinds of new non-flammable power capacitors have been developed in order to substitute for SF<sub>6</sub> gas insulated capacitor, because the GWP(global warming potential) forces Japanese government to regulate the collection of SF<sub>6</sub> gas in the disposed power apparatuses.

There are some concepts of the insulating system for the non-flammable capacitors, for example the epoxy resin molded, the insulation by inert gases and the insulation by non-flammable fluids. We selected the insulating system using the non-flammable fluids, because the system has some advantages, such as the easy thermal design and the simple component of elements. This report shows the characteristics of the non-flammable fluids immersed power capacitor which we have developed.

### 1. ま え が き

SF<sub>6</sub>ガスは地球温暖化防止京都会議（COP3）において地球温暖化ガスと認定され、近い将来には回収と再利用が義務づけられる方向となった<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>。SF<sub>6</sub>ガスは優れた絶縁性気体であると同時に不燃性であることから、ビルや地下変電所などに設置される防災型電気機器の多くに用いられている。これらの防災型機器の一つであるSF<sub>6</sub>ガス絶縁コンデンサは、汎用品として多くの製品が流通しているが、GISやガス変圧器と比較してガスの回収が難しいことから、SF<sub>6</sub>ガスを使用しない新しい防災型コンデンサの開発が望まれている。

そこで、SF<sub>6</sub>ガスに替わる絶縁媒体として変圧器で実績のある不燃性液体（以下不燃液）をコンデンサに適用し<sup>(5)(6)(7)(8)</sup>、これを含浸材とした箔タイプ（NH式）のオールフィルムコンデンサを開発した<sup>(9)</sup>（図1）。

本稿では本製品の特長および性能を中心にその概要を紹介する。



図1 新形防災コンデンサの外観

\* エネルギー事業部 調相システム部  
\*\* 技術開発センター 機能材料開発グループ

## 2. 新形防災コンデンサの特長

本器は、不燃液を油浸コンデンサと同じポリプロピレンフィルムとアルミ箔を巻回した誘電体素子に含浸させた箔タイプ（NH式）のコンデンサである。不燃液は高沸点パーフルオロカーボンの一種を用いており、不燃液の特性によって次の特長が得られている。

### （1）不燃性

不燃液は引火点および燃焼点がないため、万一の場合に火災の発生や類焼の心配がなく、火災に対する安全性が極めて高い。

### （2）地球温暖化ガス・オゾン層破壊ガス規制への適合

不燃液は常温で液体であるため、地球温暖化ガスの規制の対象外である。また、フロン（CFC）や代替フロン（HCFC）とは異なり塩素を全く含まないためオゾン層破壊係数がゼロである。

### （3）低損失・高耐電圧の誘電体

低損失・高耐電圧のポリプロピレンフィルムを誘電体として使用しており、不燃液もコンデンサ絶縁油と同等の低損失性と高耐電圧性を有しているため、コンデンサ全体として優れた電気特性（低損失）が得られている。

### （4）高い信頼性

油浸コンデンサと同様な液浸・箔タイプの設計思想とし、不燃液の特性によって低発熱量（低損失・高放熱性）を達成した。このため、油浸コンデンサと同等以上の等価寿命が得られる。

### （5）広範囲な適用性

不燃液がコンデンサ用絶縁油とほぼ同等の電気絶縁性があるため、油浸コンデンサが使用されている幅広い用途に対して防災型コンデンサとして適用が可能である。また、不燃液の低損失性と放熱性によって発熱量が抑えられるため、SF<sub>6</sub>ガス絶縁コンデンサでは実現が困難であった300 kvarを超える大容量器も製造可能である。

### （6）環境への影響と液体の再使用（リユース）

不燃液は毒性も生物蓄積性もない。このため、万一環境に排出されても環境汚染の心配はない。ただし、合成化学物質であるためコンデンサ絶縁油と同様に土壌に排出することはできない。

一方、コンデンサ絶縁油とは異なり、コンデンサ材料からの不燃液の分離が容易で、かつ分離・回収した不燃液も再生が容易である。このため、液体の再使用による省資源化が達成できる。

## 3. 不燃液の物性値

不燃液として、高沸点パーフルオロカーボンの一種であるパーフルオロポリエーテル（以下PFPE）を選択した。表1に不燃液の各種物性値をコンデンサ油と比較して示した。

表1 不燃液の各種物性値

特性	不燃液	コンデンサ油 (アルキルジフェニルエタン)
密度(25 )g/cm <sup>3</sup>	1.79	0.99
比熱(25 )cal/g	0.23	0.42
熱伝導度 cal/ml・sec・	0.00016	0.00028
動粘度(25 )mm <sup>2</sup> /s	2.4	7
表面張力(25 )dyn/c	19	36
熱膨張係数/	0.0011	0.0007
流動点	- 50	- 48
沸点	200	285
引火点	なし	148
燃焼点	なし	160
誘電率(25 )	1.9	2.5
誘電正接(25 )%	0.02	0.02
体積抵抗(25 ) cm	10 <sup>15</sup>	10 <sup>15</sup>
破壊電圧(25 ) kV/2.5 mmgap	~ 100	~ 100
水素ガス吸収性 50 , 60 分, 12 kV	+ 20 mm	- 100 mm
PP フィルム膨潤(25 ) wt %	0	11
PP フィルム溶解 (100 ・10 日)wt %	0	2
PP フィルム透過 (100 ・24 h)mg/cm <sup>2</sup>	0	15
広がり特性 (20 μ , 10 分, RT)cm <sup>2</sup>	53	36

### （1）基礎物性値

フッ素液であるため比重は重く、コンデンサ油の2倍程度となる。沸点は200 であるが、流動点が低い特長を持つ。表面張力が小さく物質に対する濡れ性が良い。また、熱膨張係数がコンデンサ油よりも大きい。

### （2）不燃性

不燃液の最大の特徴である「不燃性」については、JIS規格「原油及び石油製品引火点試験法」（K 2265-1980）に基づき、クリーブランド開放式引火点試験器

(電気加熱式)を用いて評価した。その結果、沸点 200 において発火および引火しないことを確認している。

(3) 電気特性

誘電率がコンデンサ油よりも小さいため、コンデンサ誘電体としては若干不利である。破壊電圧や誘電損失等の電気特性はコンデンサ油と遜色ない。

(4) 水素ガス吸収性

不燃液のガス吸収性を IEC Pub.628 に基づき測定した結果、不燃液はガス放出性の液体であることが分かった。したがって、油浸コンデンサよりも部分放電に対する裕度を取った設計が必要である。

(5) フィルム内部への浸透性

「不燃性」のほかにコンデンサ油と大きく異なる点は、フィルムや絶縁物を全く侵さない不活性な液体である点が挙げられる。通常、コンデンサ油はポリプロピレンフィルム中に僅かながら浸透し、フィルムを膨潤させる。

一方、不燃液はフィルム内部に浸透することは全くなく、透過もしない。このため、新形防災コンデンサ

では、液体が含浸する部分がフィルム層間とフィルム - アルミ箔層間のみとなる。

(6) 広がり特性

コンデンサ油よりも低粘度で表面張力も小さいため、フィルム表面およびアルミ箔表面への濡れ性は、コンデンサ油よりも優れている。

(7) 毒性

製品データ安全シート (MSDS) によって通常使用範囲での毒性がないことを確認している。

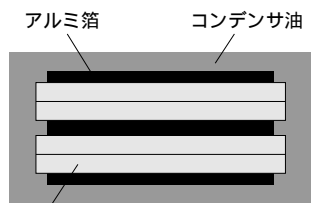
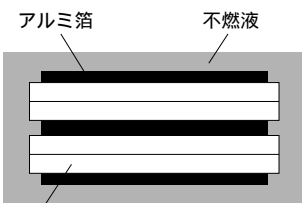
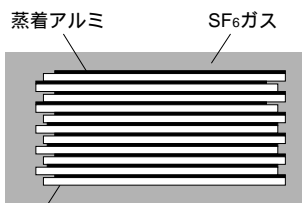
4. 既存コンデンサとの比較

新形防災コンデンサと他のコンデンサとの比較一覧を表 2 に示す。

新形の誘電体構成は油浸コンデンサと同様にアルミ箔を電極として誘電体をポリプロピレンフィルムとした構成である。ただし、液体がフィルム内部へ浸透しない点が異なる。SF<sub>6</sub> ガス絶縁コンデンサは、メタライズドフィルムを用いてフィルム層間のギャップを小さくし、部分放電開始電圧を向上させている。

設備容量については、液浸タイプであるため冷却性が

表 2 各種コンデンサの比較

方式	油浸コンデンサ	不燃液含浸コンデンサ	SF <sub>6</sub> ガス絶縁コンデンサ
	油浸 - 箔タイプ	液浸 - 箔タイプ	ガス封入 SH 式
誘電体	コンデンサ油 + ポリプロピレンフィルム  	不燃液 + ポリプロピレンフィルム  	SF <sub>6</sub> ガス + メタライズド ポリプロピレンフィルム  
防災性	可燃性	防災型 (不燃液)	防災型 (不活性ガス)
環境性	地球温暖化係数	- (規制対象外)	16,000 ~ 35,000 (規制対象)
	オゾン層破壊係数	0	0
	毒性	-	なし
損失率	0.05 % 以下	0.03 % 以下	0.05 % 以下
適用範囲設備容量	進相用途やフィルタ用等の特殊用途に対応。小容量から大容量まで製品化。	300 kvar を超える大容量器の製造が可能。油浸コンデンサの用途へ適用が可能。	熱設計上 300 kvar までが上限。
ケース容積比	1.0	1.9	2.6
重量比	1.0	2.4	1.4

当社油浸コンデンサ比

優れており、油浸コンデンサと同様に大容量器の製造が可能である。SF<sub>6</sub>ガス絶縁コンデンサは、熱設計的に300 kvar クラスが限界であった。

大きさは、部分放電開始電圧に対する裕度を大きくしているため油浸コンデンサよりも大きい。SF<sub>6</sub>ガス絶縁コンデンサの0.7倍程度である。重量は、不燃液の比重が大きいため重くなる。

### 5. 新形防災コンデンサの電気諸特性

コンデンサ本体の各種電気特性について以下に述べる。

#### (1) 静電容量 - 温度特性 (図2)

新形の静電容量の変化率は、油浸コンデンサとSF<sub>6</sub>ガス絶縁コンデンサの中間に位置しており、使用温度域内で±1%程度の変化である。

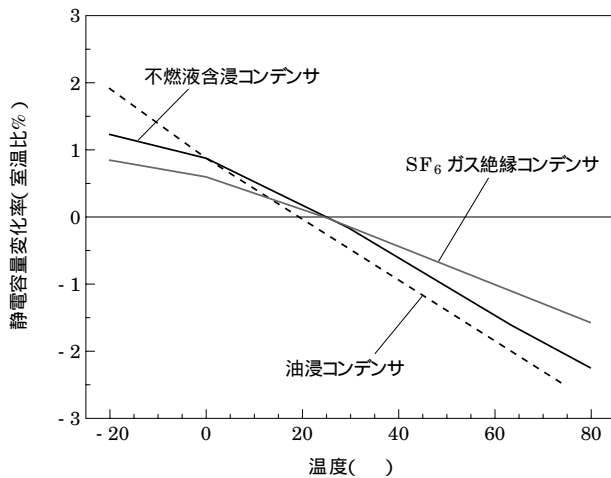


図2 静電容量 - 温度特性

#### (2) 損失率 - 温度特性 (図3)

損失率の温度に対する変化率は、新形が最も少なく、かつ損失率の値も使用温度域全体を通して最も小さな値となっている。

#### (3) 部分放電開始電圧 - 温度特性 (図4)

部分放電開始電圧の温度に対する変化は、新形では油浸コンデンサよりも小さくなっている。新形は部分放電に対する耐性が油浸コンデンサよりも劣るため、部分放電開始電圧の定格電圧に対する倍数を大きくしており、長期信頼性を確保している。

#### (4) コンデンサ内部の温度上昇値 (図5)

コンデンサ内部の温度上昇値の最高値は、油浸コンデンサと新形がSF<sub>6</sub>ガス絶縁コンデンサよりも大幅に低く抑えられている。さらに、新形は油浸コンデンサよりも若干、温度上昇値が低くなっている。

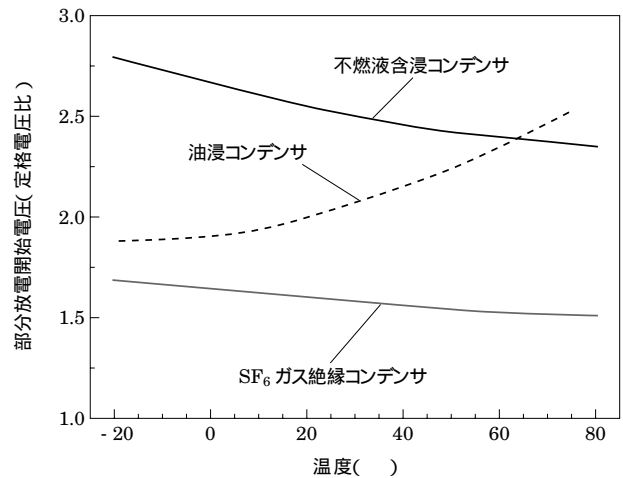


図4 部分放電開始電圧 - 温度特性

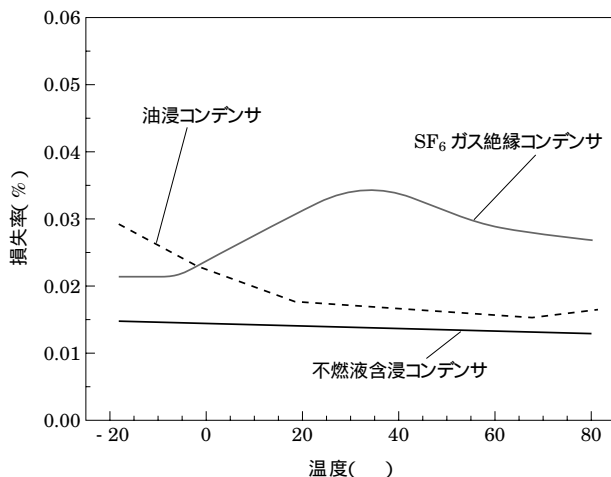


図3 損失率 - 温度特性

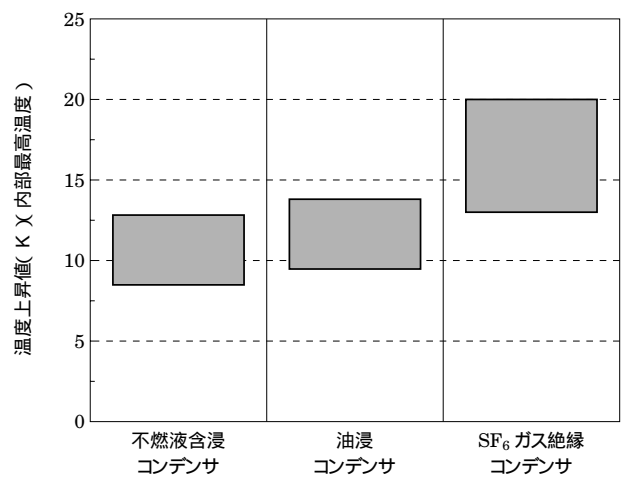


図5 コンデンサ内部の温度上昇値 (最高温度)

## 6. 防災性・安全性の確認

### 6・1 防災性の確認

新形防災コンデンサは油浸コンデンサと同様に保護用接点と限流ヒューズによってケース破壊を防止している。しかし、何らかの不具合によって万一ケースが破壊した場合に火災が生じないことを確認するため、強制破壊試験を実施した。

強制破壊試験では、あらかじめコンデンサケースの上蓋溶接部に切れ目を作り、通電と同時に破壊するようにしておいた。

試験の結果、油浸コンデンサでは通電と同時に爆発して火災が発生し、通電終了後も延焼した。一方、新形は、通電と同時にケースの切れ目から液体が飛散したものの、火災は発生せず延焼もしないことが確認された。

### 6・2 ケース防爆性の確認

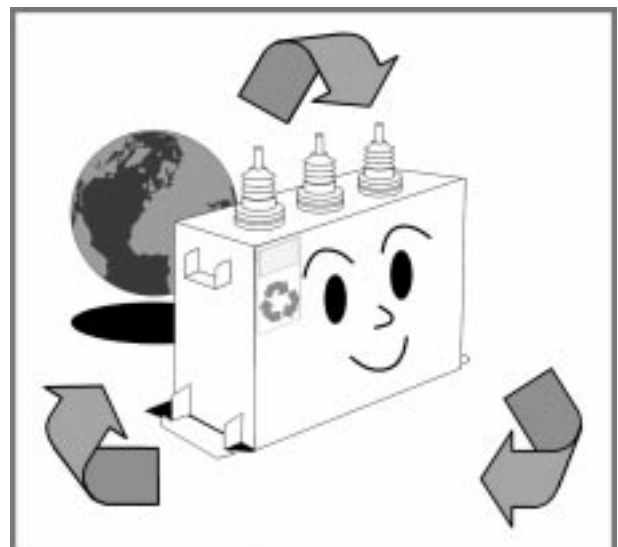
限流ヒューズによるケース破壊防止を確認するため、2相間を短絡させたコンデンサに所定の限流ヒューズを取り付けて短絡電流を通電させた。その結果、通電と同時に限流ヒューズが所定の溶断時間で溶断し、コンデンサケースが破壊することはなかった。なお、本器のケース破壊曲線により、限流ヒューズによる保護が有効であることを確認している。

## 7. あとがき

以上、SF<sub>6</sub>ガス絶縁コンデンサ代替品として開発した新形防災コンデンサについて概要を紹介した。本器は、日本における防災型電気機器のニーズの高さと世界的な環境への取組みに応える性能を有したコンデンサである。また、リサイクル性の高さから汎用電力機器としては初めて循環型経済社会システムに対応した製品となっており、次世代の電気機器の方向性を示すものと期待される。

## 参 考 文 献

- (1) 日本電機工業会編：「電機業界の環境への取り組み」(1999)
- (2) 宅間：電気学会誌 Vol.119, No.4 (1999)
- (3) 電気協同研究 Vol.54, No.3 (1998)
- (4) 月刊地球環境 No.12 (1997)
- (5) 高木他、「パーフルオロカーボン液の絶縁破壊特性」、平成2年電気学会全国大会, No.823
- (6) 仲神他、「高沸点フッ素カーボン液体の絶縁破壊特性」、平成2年電気学会全国大会, No.825
- (7) 長谷川他、「パーフルオロカーボン液中の部分放電によるガスの生成」、静止器学会, 1992年, SA-92-45
- (8) 宮城他、「SF<sub>6</sub>ガス溶解パーフルオロカーボン液の平等電界における絶縁破壊特性」、電気学会論文誌A, 1999年, 119巻3号
- (9) 板橋他、「不燃液含浸コンデンサの開発」、平成12年電気学会全国大会, No.5-175



地球温暖化・オゾン層破壊物質規制対応品

## ◆ 執筆者紹介



### 板橋 悟

1995年入社。主として、誘電・絶縁材料の研究開発および各種コンデンサの開発・設計に従事。現在、エネルギー事業部調相システム部。



### 神庭 勝

1973年入社。主として、誘電・絶縁材料の研究開発および予測保全装置の開発に従事。現在、エネルギー事業部調相システム部主任。



### 菅沼 紀美夫

1978年入社。主として、誘電・絶縁材料の研究開発および電力用コンデンサの予防保全、開発・設計に従事。現在、エネルギー事業部調相システム部課長。



### 田中 義久

1988年入社。主として、高圧コンデンサの誘電体研究および生産技術業務に従事。現在、技術開発センター機能材料開発グループ。