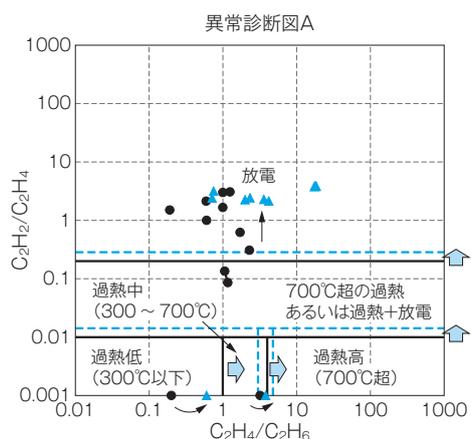


パームヤシ油入変圧器の油中ガス分析 (DGA) 判定基準

脇本 聖 Kiyoshi Wakimoto
重盛一希 Kazuki Shigemori

キーワード 変圧器, 油中ガス分析 (DGA), パームヤシ脂肪酸エステル (PFAE)

概要



実器鉱油の判定基準値に基づいたPFAEの基準値

油入変圧器の保守管理は、油中ガス分析 (DGA) によって行われている。鉱油は電気協同研究などの判定基準が存在するが、今後はパームヤシ脂肪酸エステル (PFAE) の判定基準も要望される。しかし、PFAEは歴史が浅く、鉱油と同様に数多くの実器DGAデータを基に判定基準を作成することは難しい。

そこで、PFAEの過熱や放電実験のデータを利用し、既存の鉱油判定基準を補正する方法を検討した。電気協同研究の要留意Ⅰ・Ⅱ及び異常レベルの判定基準値、異常診断図とガスパターン診断表、Duval Triangleに対し、実験で得られた鉱油とPFAEのガス発生量の比を取り、PFAEの基準を求めた。ただし、実器との整合性・CO発生の扱い・主導ガスの入れ替えなど検討の余地がある。今回の結果は、判定基準の基礎値と考え、今後実器データを収集し、判定基準を改善していく。

1 まえがき

近年、地球環境保全の観点などから環境対応型絶縁油が開発され、当社では2009年からパームヤシ脂肪酸エステル (PFAE) を使用した変圧器を製作している。変圧器の保守管理に関する一般的な方法として、油中ガス分析 (DGA) による保守管理が行われ、鉱油は電気協同研究やIEC⁽¹⁾などの判定基準が確立されているが、今後はPFAEの判定基準も要望される。鉱油の判定基準は、数多くの平常運転機器・不具合機器などのDGAデータを基に作成されたものであるが、PFAEは歴史も浅く、同様の方法を取ることは難しい。変圧器を模擬した過熱や放電実験のデータを利用することで、鉱油と同等レベルのPFAEの診断を目指しているが、実験データのみ

で基準値を作成した場合、実器との整合性が不明である。本稿では、既存の電気協同研究やIECなどの鉱油判定基準を、PFAE用に実験データで補正する方法を紹介する⁽²⁾。

2 鉱油・PFAEの過熱・放電試験

過熱試験では「各種エステル系絶縁油の局所加熱時における分解ガス挙動」⁽³⁾による鉱油とPFAEの各温度におけるガス発生量を求めたものの、放電試験では「PARTIAL DISCHARGE CHARACTERISTICS OF PALM FATTY ACID ESTER FOR DISSOLVED GAS ANALYSIS」⁽⁴⁾による鉱油とPFAEの放電によるガス発生量を求めたものなどがある。

3 DGA 判定基準の検討

3.1 電気協同研究 要注意 I・II 及び異常レベル

電気協同研究 第65巻 第1号⁽⁵⁾による鉱油の判定基準、要注意 I・II 及び異常レベル相当の PFAE 判定基準を検討した。

ガスの発生原因には、過熱・放電及び経年劣化などがある。要注意 I レベルは平常状態から逸脱し異常とは判定できないが、何らかの内部変化が起っている状態である⁽⁵⁾。その内部変化の主要因を絶縁油の過熱と考え、鉱油と PFAE を 500℃ で過熱した時のガス発生量を比較した。その結果、PFAE でのガス発生量は鉱油と比較して、それぞれ H₂ で約 0.5 倍、CH₄ 約 1.6 倍、C₂H₆ 約 4.2 倍、C₂H₄ 約 5 倍、可燃性ガスの合計である TCG は約 2.4 倍となった。第 1 表に鉱油の判定基準値に実験で得られた比を乗じて求めた、PFAE の要注意 I 判定基準値を示す。なお、エステル基の分解による CO の発生量が多いため、今回は要注意 I レベルから除外した。C₂H₂ は 700℃ 未満では検出されていないが、検出されれば異常の可

第 1 表 電気協同研究 要注意 I・II 及び異常レベル

実験で得られた鉱油と PFAE の発生ガス量比から、DGA の判定基準を作成した。

要注意 I レベル

	TCG	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO
鉱油	500	400	100	150	10	0.5	300
PFAE	1200	200	160	630	50	0.5	

要注意 II レベル

鉱油	① C ₂ H ₂ ≥ 0.5ppm	② C ₂ H ₄ ≥ 10ppm かつ TCG ≥ 500ppm
PFAE	① C ₂ H ₂ ≥ 0.5ppm	② C ₂ H ₄ ≥ 50ppm かつ TCG ≥ 1200ppm

注. ①, ②のどちらか一つでもあてはまれば要注意 II レベルとする。

異常レベル

鉱油	① C ₂ H ₂ ≥ 5ppm	② C ₂ H ₄ ≥ 100ppm かつ TCG ≥ 700ppm
PFAE	① C ₂ H ₂ ≥ 5ppm	② C ₂ H ₄ ≥ 500ppm かつ TCG ≥ 1700ppm
		③ C ₂ H ₄ ≥ 100ppm かつ TCG 増加量 ≥ 70ppm/月
		③ C ₂ H ₄ ≥ 500ppm かつ TCG 増加量 ≥ 170ppm/月

注. ①, ②, ③のどれか一つでもあてはまれば異常レベルとする。

能性があるため、鉱油と同様にできるだけ低く設定し、ガスクロマトグラフの定量下限値 0.5ppm⁽⁵⁾とした。なお、要注意 II 及び異常レベルでも同様の方法を用いた。

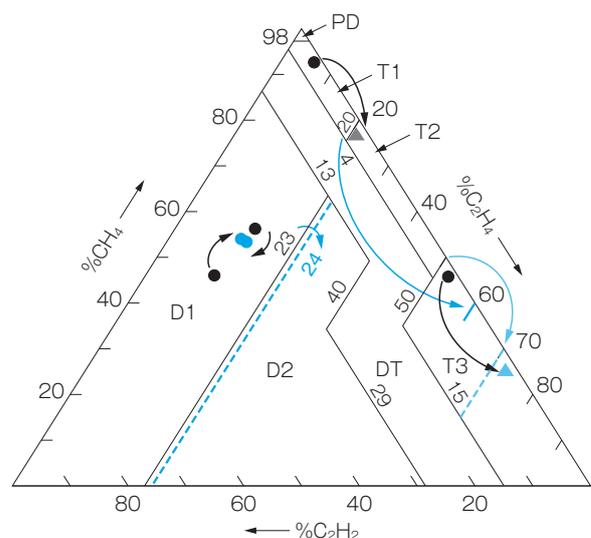
3.2 Duval Triangle

天然エステル油及び合成エステル油の判定基準は、「IEEE Guide for Interpretation of Gases Generated in Natural Ester and Synthetic Ester-Immersed Transformers」⁽⁶⁾による Duval Triangle がある。今回、その方法を用いて Duval Triangle 相当の PFAE 判定基準を検討した。

Duval Triangle は CH₄, C₂H₄, C₂H₂ の比率を用いた三角法で、T1 と T2 の境界線 (20%) は鉱油と PFAE の 300℃ におけるガス発生量⁽³⁾の結果から C₂H₄ の比を取り約 60%, T2 と T3 の境界線 (50%) は 700℃ での比を取り約 70% となる。D1 と D2 の境界線 (23%) は鉱油と PFAE の放電によるガス発生量⁽⁴⁾の結果から C₂H₄ の比を取り約 24% となった。第 1 図に Duval Triangle を示す。

3.3 電気協同研究 異常診断図

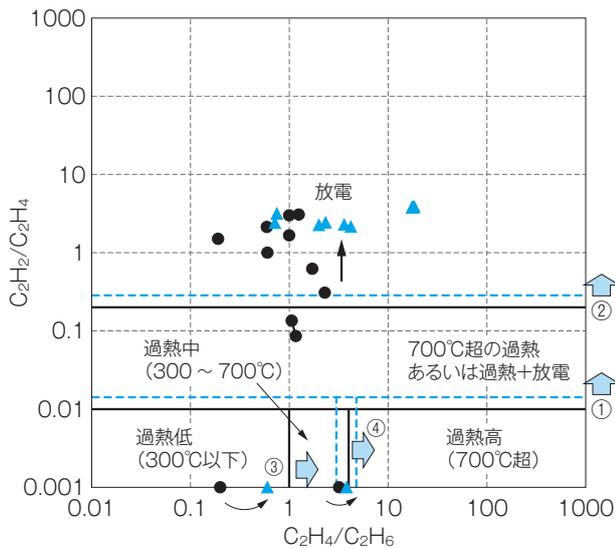
電気協同研究 第65巻 第1号⁽⁵⁾による鉱油の判定基準、異常診断図 A・B 相当の PFAE 判定基準を検討した。



第 1 図 Duval Triangle

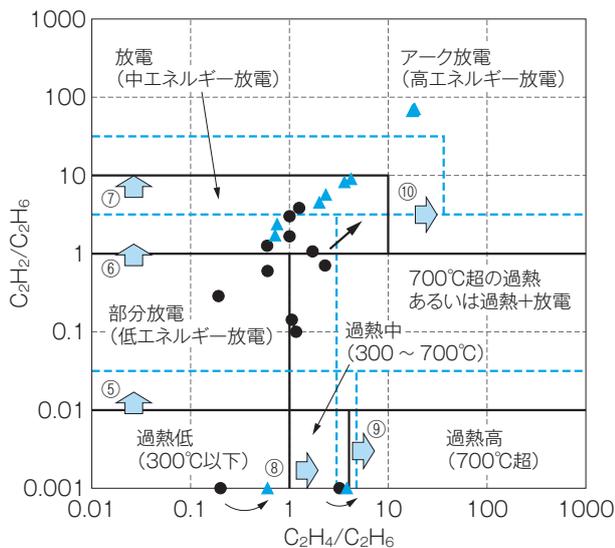
実験で得られた鉱油と PFAE の発生ガス量比から、鉱油用の Duval Triangle の境界線を移動させた。

第2図に電気協同研究の異常診断図Aを、第3図に異常診断図Bを示す。異常診断図A・Bは横軸に C_2H_4/C_2H_6 を取り、過熱領域の過熱低(300°C以下)、過熱中(300~700°C)及び過熱高(700°C以上)を判定している。この境界線は、鉱油とPFAEの300°C・700°Cにおけるガス発生量⁽³⁾の結果からDuval Triangleで行った方法を適用し、 C_2H_4/C_2H_6 の位置を算出した。縦軸は、過熱・放電・放電+過熱を判定している(異常診断図Aは C_2H_2/C_2H_4 、図



第2図 電気協同研究 異常診断図A

実験で得られた鉱油とPFAEの発生ガス量比から、鉱油用の異常診断図Aの境界線を移動させた。



第3図 電気協同研究 異常診断図B

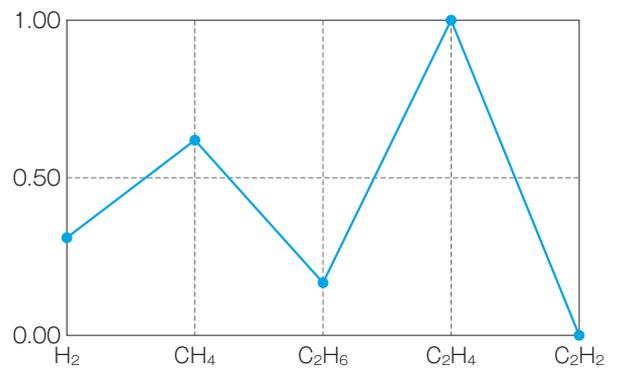
実験で得られた鉱油とPFAEの発生ガス量比から、鉱油用の異常診断図Bの境界線を移動させた。

Bは C_2H_2/C_2H_6)。これらの境界線は鉱油とPFAEの放電によるガス発生量⁽⁴⁾の結果から各境界線位置を算出した。

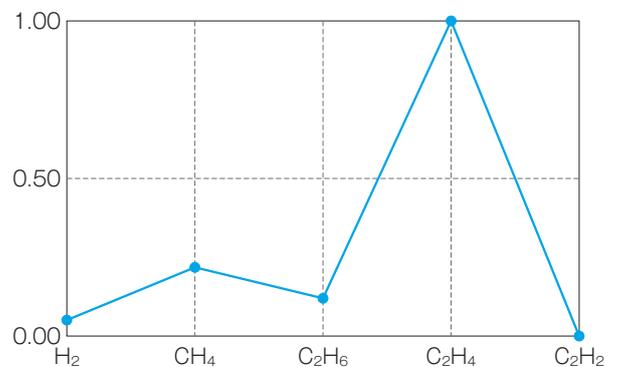
3.4 電気協同研究 ガスパターン診断表

電気協同研究 第65巻 第1号⁽⁵⁾による鉱油の判定基準、ガスパターン診断表相当のPFAE判定基準を検討した。

第4図に電気協同研究のガスパターン診断表(C_2H_4 主導形-A)を示す。横軸に H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2 を並べ、縦軸はガス成分の中で最大を1とした場合の比をプロットしている。鉱油のガスパターンから、主導ガスで起きている過熱温度(300~700°C)を推定、 C_2H_2 の値から放電の有無を推定し、前述と同様の方法を用い鉱油とPFAEの比を求めた。ただし、温度の違いから鉱油とPFAEではガス発生量が異なるため、主導ガスが入れ替わることが考えられ、検討の余地がある。



(a) 鉱油 C_2H_4 -A



(b) PFAE C_2H_4 -A

第4図 電気協同研究 ガスパターン診断表(C_2H_4 主導形-A)

実験で得られた鉱油とPFAEの発生ガス量比から、鉱油用のガスパターン診断表をPFAEの診断表に補正した。

4 むすび

既存の鉱油判定基準に、変圧器を模擬した過熱や放電実験による補正を行い、PFAEのDGA判定基準を検討した。ただし、実器との整合性の違いが考えられることや、CO発生の扱いや主導ガスの入れ替えなど検討の余地がある。

今回の結果は判定基準の基礎値と考え、今後PFAEの実器データの収集、実器に近づけるための実験の検討などを行い、判定基準を改善していく所存である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《参考文献》

- (1) "Mineral oil-filled electrical equipment in service-Guidance on the interpretation of dissolved and free gases analysis", IEC 60599, 2015
- (2) 佐野・重盛・脇本：「パームヤシ脂肪酸エステル油入変圧器における油中ガス分析判定基準の検討」, 令和元年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.298, 2019
- (3) 加藤・太田・小出：「各種エステル系絶縁油の局所加熱時における分解ガス挙動」, 電気学会論文誌A, Vol.137, No.4, 2017, pp.208-214
- (4) Yunwen He, Kiyoshi Wakimoto, Yang Xu, Shengtao Li: "PARTIAL DISCHARGE CHARACTERISTICS OF PALM FATTY ACID ESTER FOR DISSOLVED GAS ANALYSIS", Proceedings of the 21st International Symposium on High Voltage Engineering, 2020, pp.752-762
- (5) 「電力用変圧器改修ガイドライン」, 電気協同研究, 第65巻第1号, 2009
- (6) "IEEE Guide for Interpretation of Gases Generated in Natural Ester and Synthetic Ester-Immersed Transformers", IEEE C57.155, 2014

《執筆者紹介》



脇本 聖

Kiyoshi Wakimoto

変圧器ユニット

変圧器の開発に従事



重盛 一希

Kazuki Shigemori

変圧器ユニット

変圧器の開発に従事