

氏名	Abdul RAJAB (インドネシア)
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	工博甲第429号
学位授与の日付	平成29年3月24日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Early Deterioration and Its Detection of Natural Monoester Type Insulating Oil Used for Transformer. (変圧器用天然モノエステル絶縁油の早期劣化とその検出)
論文審査委員	主査教授 匹田 政幸 " 三谷 康範 " 清水 陽一 准教授 豊田 和弘 " 小迫 雅裕

学位論文内容の要旨

電力用油入変圧器は、これまで広く使用されており、絶縁システムとしては鉱油と固体絶縁材料の複合絶縁からなる。最近、変圧器の絶縁媒体として、天然エステル系の植物油が鉱油に代わる材料として注目を集めている。天然エステル油は、容易に分解され、無害、高い印加点と発火点を持つので、環境調和型油である。飽和型脂肪酸鎖のみで構成されるパーム脂肪酸エステル(PFAE)は、粘度が鉱油に比較して冷却効果も高い。一方、通常、鉱油を絶縁油として用いている変圧器を安全に運用するために、油中の分解ガス分析(Dissolved gas analysis: DGA)による異常診断が国内外で広く用いられている。近年、天然モノエステル系油を用いた変圧器が使用され始めているが、鉱油使用を想定した現状のDGAによる異常診断判定基準が適用できるかは不明である。

本論文は、変圧器用天然モノエステル系絶縁油であるPFAEにおいて、低温局所加熱(LTOH)および部分放電(PD)による早期劣化現象と分解ガス分析による早期劣化検出について、他のモノエステル系油とも比較して、調査、検討している。また、水分によるPFAEの分解ガス生成への効果および部分放電への影響につき検討されている。

本論文は、6章からなり、第1章は本研究の背景、課題、研究目的を記述している。

第2章では、植物油(天然エステル油)ベースの絶縁液体、特に本研究で課題となる天然モノエステル系油の研究についてレビューしている。油中分解ガス分析による異常解析法と水分の誘電絶縁特性に及ぼす影響について解説している。

第3章では、早期の変圧器内の劣化現象の一つである200から300°Cの低温局所過熱(LTOH)を模擬する実験方法を述べている。異なる分子構造を持つ各種のエステル油を

対象として、生成されるキーガス成分や生成ガスの分布を調査した。

その結果、天然モノエステル油では、鉱油に比べて、一酸化炭素(CO)がより多く、また、メタン(CH₄)はより少なく発生すること、および、炭化水素鎖中に C-C 二重結合を持つ天然モノエステル油では多量のエタン(CH₄)が発生するが、C-C 二重結合を持たない天然モノエステル油では、鉱油と同様に、CH₄ の発生はないことを見いだした。従って、本研究により、油の種類によらず、炭化水素鎖中に C-C 二重結合をその分子構造に持つモノエステル油に対しては、エタンが LTOH の主要な分解ガスであることを示した。よって、これまで国際電気協会(IEC)や電気協同研究会が電力用変圧器改修ガイドラインで規定されている DGA 異常判定基準では、LTOH が識別できないことがわかった。その代わりに、CO/CH₄ の生成ガス比が LTOH による変圧器異常の判定指標となること、および CO/CH₄ 生成ガス比を使用して LTOH の加熱温度を推定する手法を新たに提案している。

第4章では、もう一つの早期の劣化現象である変圧器内部の比較的エネルギーの小さい部分放電による PFAE 油中分解ガスについて調査している。その結果、鉱油では部分放電により発生する水素(H₂)が、PFAE では発生しないことを示した。既存の DGA では、PFAE の部分放電による劣化は判定できず、より高いエネルギーによる劣化として過剰判定されることを示した。また、油中の水分量が 17%(188 ppm)までは、油中の部分放電挙動には変化がなく、DGA による生成ガス種・量・分布とも変化がないことも示された。

第5章では、鉱油に比べて水分溶解度が高い PFAE の 188 ppm 以上の水分量が部分放電挙動を増加させることが示された。すなわち、負極性の部分放電発生数が大きく増加するが、一方、正極性の部分放電数は大きく減少するが電荷量は低下しないことを示した。この部分放電挙動の極性効果の結果の解釈として、油中の水分子の大きな電子親和力が関与するメカニズムを提唱している。

第6章では、結論として本研究で得られた成果をまとめた。

学位論文審査の結果の要旨

最近、電力用変圧器の絶縁媒体として、天然エステル系の植物油が、鉱油に代わる材料として注目を集めている。その中でも、飽和型脂肪酸鎖のみで構成されるパーム脂肪酸エステル(PFAE)は、粘度が鉱油に比較して冷却効果も高く、日本では、環境調和型電力用の変圧器として、鉄道やプラントの変電設備として使用され始めている。

一方、通常、鉱油を絶縁油として用いている変圧器を安全に運用するために、油中の分解ガス分析(Dissolved gas analysis: DGA)による異常診断が国内外で広く用いられている。近年、天然モノエステル系油を用いた変圧器が使用され始めているが、鉱油使用を想定した現状の油中ガス分析(DGA)による異常診断判定基準が適用できるかは

不明であり、早急な検討が必要である。

以上の背景より、本論文は、変圧器用天然モノエステル系絶縁油であるパーム脂肪酸エステル PFAE において、200 から 300°C の低温局所加熱(LTOH)および部分放電(PD)による早期劣化現象と油中分解ガス分析による早期劣化検出について、他のモノエステル系油や従来の鉱油とも比較して、調査、検討している。

まず、低温局所過熱(LTOH)を模擬する実験の結果、天然モノエステル油では、鉱油に比べて、一酸化炭素(CO)がより多く、また、メタン(CH₄)はより少なく発生することを見いだした。また、油の種類によらず炭化水素鎖中に C-C 二重結合をその分子構造に持つモノエステル油に対しては、エタンが低温局所過熱 LTOH の主要な分解ガスであることが示された。よって、これまで国際電気協会(IEC)や電気協同研究会が電力用変圧器改修ガイドラインで規定されている DGA 異常判定基準では、低温局所過熱(LTOH)が識別できないことを明らかにした。その代わり、CO/CH₄ の生成ガス比が LTOH による変圧器異常の判定指標となること、および CO/CH₄ 生成ガス比を使用して LTOH の加熱温度を推定する手法を新たに提案している。

さらに、もう一つの早期の劣化現象である変圧器内部の比較的エネルギーの小さい部分放電による PFAE 油中分解ガスおよびその水分効果について調査した。その結果、鉱油では部分放電により発生する水素(H₂)が、PFAE では発生しないことを示した。よって、既存の DGA では、PFAE の部分放電による劣化は判定できないことを明らかにした。

以上、本論文は、変圧器用天然モノエステル系絶縁油において、劣化の初期過程である低温局所加熱(LTOH)および水分の影響を踏まえて部分放電(PD)の分解ガス分析による異常検出について、他のモノエステル系油とも比較して、通常の鉱油では発生しない CO や CH₄ が発生することをその生成メカニズム共に明らかにしており、学術的な価値を有している。さらに、CO/CH₄ の生成ガス比を用いた変圧器の早期劣化段階の新規診断手法を提案しており、産業応用面からも高い価値を有し、博士学位論文として十分であると判定された。

また、審査会および公聴会において、キーガスとなる分解ガス種、分解ガスの絶対値、油中の部分放電測定回路、分解ガス検出による劣化判定手順等について多くの質問がなされたが、いずれも適切な回答がなされ、質問者の理解が得られた。以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会にて慎重に審査した結果、本論文が博士(工学)の学位に十分値するものであると判断した。