

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 19 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24560351

研究課題名(和文) 環境適合絶縁油中の沿面放電特性とストリーマ進展機構に関する研究

研究課題名(英文) Research on Creeping Discharge Characteristics and Streamer Propagating Mechanism in Environmentally Fitted Insulating Oils

研究代表者

花岡 良一 (HANAOKA, RYOICHI)

金沢工業大学・工学部・教授

研究者番号：90148148

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：インパルス高電圧と60Hz交流高電圧を用いて、植物由来絶縁油(菜種油とパームヤシ脂肪酸エステル(PFAE)油)中の沿面放電特性が研究された。背後電極を持つ0.1～2.0 mm範囲の狭いギャップ中を進展するインパルス沿面放電において、ギャップ間隔の減少により、フラッシュオーバー電圧は増加し、ストリーマ速度は減少する。これらの効果は、正極性ストリーマにおいて顕著である。一方、新油中および熱加速劣化油中の交流沿面放電特性が明確にされた。これらの研究から、PFAE油は電気絶縁性能と酸化安定性に優れ、次世代絶縁油として有望であり、電力変圧器等への適用によって、機器の小型軽量化と長寿命化設計が期待できる。

研究成果の概要(英文)：The characteristics of creeping discharges in vegetable-based oils (crude rapeseed oil and palm fatty acid ester(PFAE) oil) were investigated using the impulse high voltage and 60Hz AC high voltage. In the impulse creeping streamer propagating in narrow gaps in the range 0.1 to 2.0 mm with the back side electrode, the flashover voltage in both polarities increases with the decrease of gap spacing and the mean streamer velocity decreases, and these effects are remarkable in the positive streamer. On the other hand, the characteristics of AC creeping discharges in vegetable-based oils with and without the deterioration were clarified. From a comprehensive view of these investigation, PFAE oil can be expected as promising fluid for the eco-friendly insulation design, size reduction and longer service life of oil-filled power transformers, because of better insulation performance and excellent durability to aging.

研究分野：高電圧工学

キーワード：交流高電圧 インパルス高電圧 沿面放電 植物由来絶縁油 鉱油 複合絶縁系 油中ガス分析

### 1. 研究開始当初の背景

油入電力変圧器などの高電圧機器には、絶縁油とプレスボードを組み合わせた複合絶縁系が用いられ、過去1世紀以上に渡って採用されてきた。主に化石資源ベースの鉱油は、絶縁・冷却媒体として優れた性能を持つことから頻繁に使用されてきた。しかし、鉱油は誘電率、引火点が比較的 low、わずかな毒性があり、生分解性も低い。さらに、近年では原油資源の枯渇、硫化銅腐食、燃焼時の大気汚染や漏油による環境汚染などの問題から地球環境の悪化が懸念され、鉱油に代わる環境適応型の絶縁油、例えば、難燃性で無害なシリコン油や植物油由来の絶縁油開発に関心が高まり、それらの物理的・電気的特性が調査されている。一方、上記のような複合絶縁系において、絶縁油/固体の界面は、誘電率整合が難しいことから、雷サージなどの過電圧により沿面放電が進展しやすい電気的弱点部となる。さらに、沿面ストリーマは、印加電圧が比較的 low であっても、固体表面や内部の異物(例えば、小さな金属異物、ボイド、高誘電率物質など)によって長く進展し、フラッシュオーバーや貫通破壊を起し易くなる。それ故、沿面放電特性については、鉱油を対象として古くから研究がなされてきた。しかし、代替絶縁油に関する油中沿面放電特性や沿面放電からフラッシュオーバーに至るメカニズムなどに関する情報は少なく、詳細な研究はあまりなされていない。代替絶縁油を油入電力機器に適用し、絶縁設計の信頼性を確保する上で、種々の条件下での沿面放電特性を十分に理解することは、今後の我が国の電力技術向上に極めて重要である。

### 2. 研究の目的

電力用変圧器を始めとする高電圧油入電力機器の内部絶縁には、化石資源ベースの鉱油が最も広く使用されてきた。近年、原油資源の枯渇による供給不安、硫化銅腐食、燃焼時や漏油による環境汚染などの問題が表面化し、絶縁油の“脱・石油化”が世界的な課題となり、難燃性で無害、かつ低粘度の代替絶縁油に注目が寄せられている。本研究は、環境に優しい植物油ベースの絶縁油に着目して、インパルス油中沿面放電特性および交流沿面放電特性を中心に電気絶縁性能を種々の実験によって明らかにし、環境に適合した次世代絶縁油としての普及を図ると共に、環境保全型電力機器の新規設計・開発に貢献することを目的とする。

### 3. 研究の方法

鉱油の代替絶縁油として、菜種原油、パームヤシ脂肪酸エステル油(PFAE)油、鉱油を選定し、各種の電極構成、印加電圧、実験条件の下で発生する油中沿面放電特性の計測と放電発生に伴う油中ガス成分分析を行う。これらの実験データを基に、ストリーマ進展からフラッシュオーバーに至る不確定要素、および

沿面放電に付随した諸現象を明らかにし、そのメカニズムを検討する。以下に研究方法を具体的に記述する。

#### (A) 印加電圧の種類と装置

正・負インパルス電圧(雷サージを模擬)、および、60 Hz 交流高電圧を用いる。

(1) 正・負インパルス電圧: 種々の波頭長、波尾長を有するインパルス電圧発生器(主に、 $\pm 1.2/50 \mu\text{s}$ ,  $\pm 1.2/1000 \mu\text{s}$ , 波高値:  $\pm 150 \text{kV}_{\text{max}}$ )

(2) 60 Hz 交流高電圧: 交流耐電圧試験装置

(B) 印加電圧波形、放電形態、ストリーマ様相と速度、放電電流と放電エネルギー、プレスボードトラッキングと貫通破壊の計測

(1) 印加電圧波形: 高電圧プローブとデジタルストレージスコープを用いて計測する。また、フラッシュオーバー電圧も計測する。

(2) 放電形態: イメージインテンシファイア付き暗視カメラを用いて、放電様相と放電進展長を計測する。

(3) ストリーマ速度:

・インパルス沿面放電(超高速カメラを用いて、沿面放電の時間的進展過程を撮影し、そのデータからストリーマ速度分布を得る。)

・交流沿面放電(ストリーマ進展長特性から計測する。)

(4) 放電電流: LED とフォトダイオードからなる光電変換装置を用いて、デジタルストレージスコープで計測する。

(5) 放電エネルギー:

・交流沿面放電(ソーヤ・タワー回路を用いて、 $V-Q$  リサージュ図の面積より算出する。)

(6) プレスボード表面の諸現象:

静止カメラで撮影し、観測する。

(C) 沿面放電実験用セル:

供試絶縁油導入容器(透明アクリル製)内に電極系を取り付け、石英観測窓を有するステンレス製実験セル内に配置する。実験セル内は真空ポンプで脱気後、窒素ガスを満たして油の酸化や水分混入を防ぐ。また、供試絶縁油を導入する際、大気との接触を遮断し、水分含有量を 100 ppm 以下に保持する。水分含有量は、カールフィッシャー滴定装置で計測する。

(D) 放電による油中ガス分析:

ガスクロマトグラフィーで分析する。

### 4. 研究成果

( ) 固体誘電体板間の狭い隙間を進展するインパルス沿面放電の振る舞いとフラッシュオーバー電圧の関連性

雷サージなどの侵入による油入変圧器内部の沿面フラッシュオーバーは複雑な経路をたどり、高電界領域、比較的低い電界領域、固体誘電体間の隙間、固体誘電体の貫通破壊などを経由する場合が多い。油中沿面放電現象をより深く理解するために、PFAE 油中に浸した固体誘電体板間の狭い隙間(この場合、二つの界面(固体/絶縁油/固体))が存在す

る)を進展するインパルス沿面放電の振る舞いとフラッシュオーバー電圧の関連性を調べた。この研究では、図1に示すように、2種類の電極構成:「絶縁油/プレスボードの単一界面を持つ Model 1」と「固体誘電体板間に狭い隙間を設けた Model 2」が使用され、Model 1における固体誘電体板間の間隔  $\Delta D$  は、0.1 ~ 2.0 mm の範囲としている。プレスボードの片面には針電極と対向電極(接地電極)が取り付けられ、裏面に背後電極(BSE(Back side electrode): 接地した銅棒)が有るものと無いものを準備した。針電極に波高値  $V_p=0 \sim \pm 140$  kV( $\pm 1.2/50 \mu s$  と  $\pm 1.2/1000 \mu s$ )の雷インパルス電圧を印加して沿面放電を発生させた。

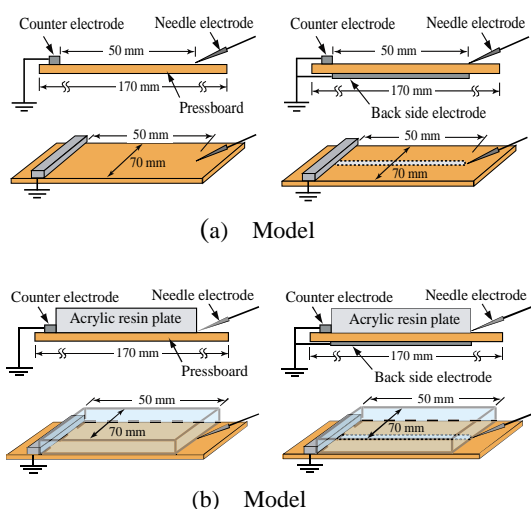


図1 電極構成の概略図

得られた成果は、以下に要約される。

(A) Model 1 の沿面放電特性

PFAE 油と鉱油の両者において、正極性ストリーマは、同一印加電圧で負極性ストリーマより長く進展する。

BSE が存在すると両極性のストリーマは拡張され、フラッシュオーバー電圧は BSE の無い場合より低くなる。

印加電圧の波尾長が長い場合、両極性のストリーマはより成長する。

PFAE 油中のストリーマ進展長は、鉱油中よりやや短い、フラッシュオーバー電圧は、両絶縁油で大体同じである。

(B) Model 2 の沿面放電特性(固体誘電体板間の間隔; 0.1 mm の場合)

PFAE 油と鉱油の両者において、BSE が無い場合、ストリーマの進展長は極めて短く、フラッシュオーバー電圧は非常に高い。

BSE を設けることによって、両極性のストリーマ進展長は大きく拡張され、フラッシュオーバー電圧は BSE が無い場合より極めて低くなる。さらに、この場合、同一印加電圧で負極性ストリーマの進展長は正極性ストリーマより長くなり、Model 1 の場合とは逆の関係となる。これは、狭い隙間を進展するストリーマの特徴であることが分かった。

狭い隙間を進展するストリーマの成長は、Model 1 の場合に比べて大きく抑制され、放電電流パルスは、印加電圧の波尾長でも長く持続して発生する。そのため、ストリーマの進展速度は減速する。この効果は正極性ストリーマにおいて顕著である。

(C) Model 2 における固体誘電体板間の間隔と沿面放電特性の関連性

PFAE 油と鉱油の両者において、ストリーマ進展長とフラッシュオーバー電圧  $V_f$  は、誘電体板間の間隔  $\Delta D$  によって、特異な極性効果を示す。

$\Delta D = 0.1 \sim 1.0$  mm における負極性ストリーマの進展長は、同一印加電圧でいつも正極性ストリーマより長くなる。

$\Delta D = 2.0$  mm において、負極性ストリーマの進展長は、正極性ストリーマより短くなる。これは、固体/絶縁油の単一界面(Model 1)を進展する沿面放電と同じ関係である。

フラッシュオーバー電圧は、 $\Delta D < \sim 1.2$  mm の範囲において負極性電圧で低く、 $\Delta D > \sim 1.2$  mm の範囲において正極性電圧で低くなる。

$\Delta D = 0.1 \sim 1.0$  mm におけるストリーマ進展長の極性効果は、誘電体板間の狭い隙間に起因する。特に、正極性ストリーマの成長は、狭い隙間内で油領域が制限されるために抑制される。

正極性ストリーマの平均速度は、 $\Delta D$  の減少と共に減速されるが、負極性ストリーマの速度は  $\Delta D$  と無関係に大体一定である。PFAE 油中におけるストリーマ成長とフラッシュオーバー電圧は、鉱油中のそれらとほぼ同程度である。

以上の研究成果は、代替絶縁油を用いた環境適合型油入電力機器の新規絶縁設計において重要であり考慮すべきである。

( ) 植物油系絶縁油(新油)と鉱油(新油)中の交流沿面放電特性

代替絶縁油(パームヤシ脂肪酸エステル(PFAE)油と菜種油(原油))および鉱油中の絶縁油/プレスボード界面を進展する交流沿面放電特性を詳細に計測し検討した。本研究の遂行によって、60 Hz, 0 ~ 45 kV<sub>rms</sub> の交流高電圧  $V_{rms}$  印加時のストリーマ形状と進展長、ストリーマ速度、放電電流、放電エネルギー、プレスボード表面のトラッキング、プレスボード貫通破壊に関する特性が明確になった。電極系として図2に示すように、高密度プレスボードの片面に高電圧電極としてタングステン製針電極(先端曲率半径: 約 30  $\mu m$ )が取り付けられた。なお、この研究では、表面フラッシュオーバーを避ける為、針電極に対抗したカウンター電極は設けていない。また、プレスボードの裏面には接地された直径 2 mm の銅製棒が、背後電極(BSE)として取り付けられた。また、図3は、沿面放電特性を調べるために構築した実験系の

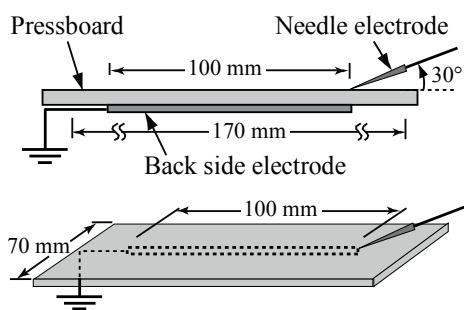


図2 電極構成の概略図

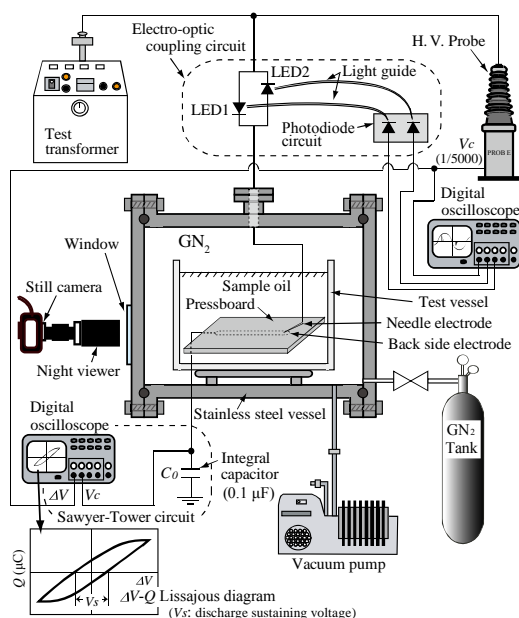


図3 実験系の概略図

概略図を示す。

得られた成果は、以下に要約される。

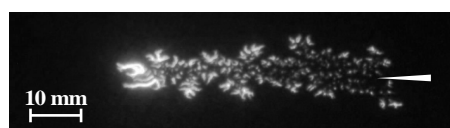
沿面ストリーマは、一定値の印加電圧の下で、多くの枝分れを持ち、プレスボード表面上をゆっくりと進展する。

ストリーマの分岐点で、電離領域を示す輝点が観測される。菜種原油と鈹油中の輝点は、PFAE 油中のそれより明るい。また、菜種原油と鈹油中のストリーマは、多くの細い枝分れを有し、その先端での発光スポット数も多いが、PFAE 油中では、枝分れの少ない比較的太い幹を持つストリーマが進展する。

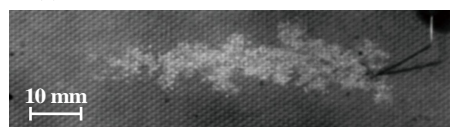
ストリーマは、BSE に沿う方向へ進展し易く、BSE の効果を明確に表わす。また、一定電圧を印加した時間  $t_m$  にほぼ比例して進展する。それぞれのカーブの傾きは、ストリーマの平均進展速度を表す。菜種原油と鈹油中のストリーマ進展速度（BSE に平行方向の速度）は、PFAE 油中の速度よりも速い。また、菜種原油と鈹油中のストリーマ進展長は、同じ印加電圧と放電時間で比較して、PFAE 油中のそれより長い。放電後の油中ガス分析から得られたガス成分には、アセチレン ( $C_2H_2$ ) ガスが検出

される。 $C_2H_2$  ガスの生成は、ストリーマチャンネル上またはその付近の局部温度が、放電エネルギーによって少なくとも 500 以上に上昇することを暗示する。

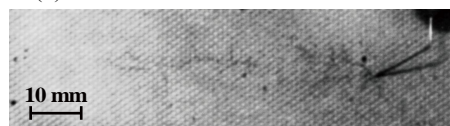
放電様相（図 4(a)参照）とほぼ同じパターンの白色痕跡が、ストリーマの成長と同時に現れる（図 4(b)参照）。これは、電氣的・熱的效果によるプレスボードの乾燥プロセスに起因する。また、沿面放電進展後のプレスボード表面には、導電性の炭化路を示すトリー状の黒色トラッキングが残される（図 4(c)参照）。交流沿面放電は、このトラッキングによって極めて進展し易くなる。



(a) 沿面放電 ( $V_{rms}=35$  kV,  $t_m=15$  min.)



(b) 放電進展後の白色痕跡



(c) プレスボード表面のトラッキング

図4 プレスボード表面の沿面放電、白色痕跡、およびトラッキングパターン

#### ( ) 熱加速劣化した植物油系絶縁油と鈹油中の交流沿面放電特性

油入変圧器は、一般に約 30 年以上の稼働寿命が要求されるが、経年に伴う絶縁物の劣化、および雷サージなどの異常電圧または外部短絡時の電磁機械力などによる電氣的・機械的ストレスにより、絶縁物の絶縁耐力は低下し電気絶縁破壊を起こす確率が増す。菜種油と PFAE 油は、今後の実用化と普及が望めるが、油入変圧器内部の複合絶縁系は、経年劣化を伴う。沿面放電現象に関して変圧器の経年劣化の影響を報告している研究では、現在のところセルロース材料等の劣化効果に関するものが多く、絶縁油自体の劣化に注目した報告は少ない。そこで、熱加速劣化した菜種油、鈹油、および PFAE 油のサンプルを準備し、交流沿面放電特性を劣化油と新油中で詳細に計測し比較・検討した。電極系と実験系は、前年度の研究と同様である。また、針電極に印加する 60 Hz 交流高電圧は、0~45 kV<sub>rms</sub> の範囲である。劣化絶縁油の供試サンプルは、酸価値が 0.3 mgKOH/g に統一されている。この酸価値は、鈹油使用変圧器を通常運転した場合の期待寿命（約 30 年）を経過した絶縁油のそれに相当する。劣化サンプル油に関して、新油の菜種油と鈹油は透明である

のに対し、劣化菜種油は濃い茶色、劣化鉱油は薄い茶色に変化した。また、PFAE 油は、新油と劣化油のいずれも透明であり、着色の変化は見られなかった。なお、サンプル油の含有水分量は、いずれも 100 ppm 以下である。菜種油の動粘度は、劣化により鉱油に比べて非常に高くなるが、PFAE 油の動粘度は、新油と劣化油の差が見られない。また、菜種油、鉱油、PFAE 油の劣化によって、いずれの絶縁油も誘電損失は増加し、体積抵抗と絶縁破壊電圧は減少する。

交流高電圧をタングステン製針電極（先端曲率半径：約 50  $\mu\text{m}$ ）に印加し、劣化油中の沿面ストリーマ形状、ストリーマ進展長と進展速度、放電電流、放電エネルギーなどの特性を新油中の特性と比較・検討した。得られた成果は、以下に要約される。

図 5 は、新油と劣化油中の交流沿面放電様相（ $V_{rms}=35[\text{kV}]$ ）を電圧印加時間  $t_m$  の関数として示す。いずれの絶縁油も劣化の有無に関わらず、ストリーマは基本的に背後電極に平行と垂直方向へ徐々に進行する。放電の様相は、多くの細い枝分れとその先端の輝点によって特徴づけられる。輝点は、ストリーマの分岐枝先端に位置し、それらは電離領域を示している。ストリーマは、背後電極に垂直よりも平行方向に進展し易い。劣化した鉱油と菜種油中における沿面ス

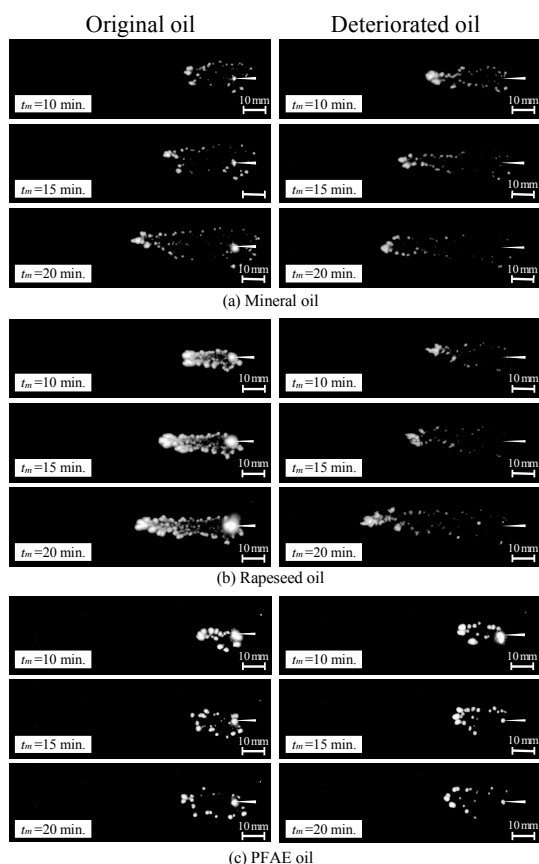


図 5 新油と劣化油の沿面ストリーマ進展様相（ $V_{rms}=35 \text{ kV}$ ）

トリーマの進展は、新油中のそれより助長され、ストリーマ進展速度も速くなる。一方、PFAE 中では、新油と劣化油の進展長に大きな差は見られず、ストリーマ進展速度の差も殆どない。

放電電流は、新油と劣化油いずれも多数の急峻パルスを伴うが、劣化した鉱油と菜種油中の電流パルスは、同一印加電圧値の下で新油より非常に大きい。これに伴い放電エネルギーも上昇する（図 6 参照）。一方、PFAE 油では、新油と劣化油におけるそれらの差は非常に小さい。なお、放電エネルギー  $J_i$  (J/s) は、図 3 の実験系におけるソーヤ・タワー回路から得られる  $V-Q$  リサーチ図形によって計測された。

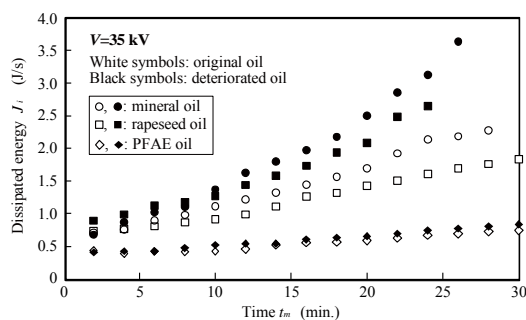


図 6 新油と劣化油中の沿面放電に伴う放電エネルギー（ $J_i$  と  $t_m$  の関係）

以上の研究成果を総合的に評価して、PFAE 油は、沿面放電特性に及ぼす油の劣化効果が非常に小さく、油入電力機器の電気絶縁設計の観点から、機器の小型・軽量化および長寿命化に有利であると言え、環境適合型の次世代絶縁油として有望である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

F. Murdiya, R. Hanaoka, H. Akiyama, K. Miyagi, K. Takamoto, T. Kano, Creeping Discharge Developing on Vegetable-Based Oil/Pressboard Interface under AC Voltage, IEEE Trans. on Dielect. and Elect. Insul., 査読有, Vol. 21, No. 5, pp. 2102-2110, (2014)  
DOI: 10.1109/TDEI.2014.004569

F. Murdiya, R. Hanaoka, R. Hashi, K. Miyagi, H. Koide, Properties of Creeping Streamer Progressed in Dielectric Barrier with Narrow Gap in PFAE Oil, J. of Energy and Power Eng., 査読有, Vol. 7, pp. 1257-1264 (2013)

〔学会発表〕(計 19 件)

K. Takamoto, S. Nishikawa, Y. Oura, K. Miyagi, R. Hanaoka, Beneficial Effect of Natural Ester Fluids for Lifetime Extension of Transformers, 19th Int. Symp. on High Voltage Eng., Pilsen, Czech Republic No. 181 (2015)

T. Fujisawa, F. Murdiya, R. Hanaoka, K.

Miyagi, K. Takamoto, S. Nishikawa, H. Kaneda, Creeping Discharge Characteristics over Aged Rapeseed and Mineral Oils/Pressboard Interface under AC Divergent Field, 19th Int. Symp. on High Voltage Eng., Pilsen, Czech Republic, No. 191 (2015)

小柳洋介, 山本博法, 宮城克徳, 花岡良一, 鈴木貴志, 高本清: 植物由来エステル系絶縁油と鉱油のブレンド検討—電気絶縁の基礎特性—, 第 35 回 絶縁油分科会研究発表会要旨集, 京都, No. 5, pp. 21-26 (2015)

小柳洋介, 藤澤拓弥, 宮城克徳, 花岡良一, 植物由来エステル系絶縁油と劣化鉱油のブレンド調査—電気絶縁の基礎特性—, 電学 A 部門大会, 石川, p. 95 (2015)

山本博法, 藤澤拓弥, 小柳洋介, 花岡良一, 宮城克徳, 高本清, 西川精一, 金田尚士, インパルスバリア放電による菜種油中の溶解ガス成分の分析, 電学 A 部門大会, 石川, p. 226 (2015)

小柳洋介, 藤澤拓弥, 高橋和磨, 大雲信幸, 宮城克徳, 花岡良一, 脇本 聖, 天然エステル(大豆油)と鉱油のブレンド調査—電気絶縁の基礎特性—, 電気関係学会北陸支部連合大会, 石川, A2-12 (2015)

山本博法, 藤澤拓弥, F. Murdiya, 花岡良一, 宮城克徳, 西川精一, 高本清, 金田尚士, 菜種油中バリア放電時のストリーマの進展様相, 電学全国大会, 東京, 第 1 分冊, p. 129 (2015)

花岡良一, 植物由来絶縁油と鉱油中の沿面放電現象(特別講演), 九州工業大学, 福岡, (2015)

山本博法, 藤澤拓弥, F. Murdiya, 花岡良一, 宮城克徳, 西川精一, 高本清, 金田尚士, コロナ放電により菜種油中に溶解したガス成分の分析, 電学全国大会, 愛媛, 第 5 分冊, p. 342 (2014)

F. Murdiya, R. Hanaoka, R. Hashi, K. Miyagi, K. Takamoto, H. Kaneda, S. Nishikawa, H. Koide, AC Creeping Discharge over Pressboard Surface in Vegetable-based Oils, Int. Symp. on High Voltage Eng., Seoul, Korea, No. OE6-01, pp. 1314-1319 (2013)

K. Takamoto, Y. Oura, R. Hanaoka, K. Miyagi, Precision Improvement of Dissolved Gas Analysis in Oil for Transformer by Stripping Extraction Method, Int. Symp. on High Voltage Eng., Seoul, Korea, No. OF1-01, pp. 1732-1737 (2013)

F. Murdiya, R. Hashi, R. Hanaoka, K. Miyagi, S. Nishikawa, K. Takamoto, H. Kaneda, Dissolved Gas Analysis (DGA) under Impulse Voltage in Rapeseed Oil, 石油学会絶縁油分科会研究発表会要旨集, 京都, No. 5, pp. 23-30 (2013)

藤澤拓弥, 山本博法, 福田章悟, 花岡良一, F. Murdiya, 宮城克徳, 交流高電圧による鉱油及び菜種油中のコロナ放電, 電気関係

学会北陸支部連合大会, 石川, A2-19 (2013)

山本博法, 花岡良一, F. Murdiya, 宮城克徳, 固体バリアのある PFAE 油中を進展する沿面放電, 電学 A 部門大会, 神奈川, 12-E-a2-1, p.406 (2013)

山本博法, 端 良太, F. Murdiya, 花岡良一, 宮城克徳, 西川精一, 高本清, 金田尚士, インパルスアーク放電により菜種油中に溶解したガス成分の分析, 電学全国大会, 愛知, (2013)

R. Hashi, T. Usui, R. Hanaoka, K. Miyagi, F. Murdiya, H. Koide, Properties of Creeping Streamer Progressed Dielectric Barrier with Narrow Gap in PFAE Oil, Int. Conf. on Elect. Eng., Kanazawa, Japan, No. P-FS2-7, pp. 1524-1529 (2012)

端 良太, 花岡良一, 山本博法, 高本清, 西川精一, 金田尚士, 宮城克徳, 交流沿面放電により菜種油中に溶解したガス成分の分析, 第 32 回絶縁油分科会研究発表会要旨集, 京都, No. 6, pp. 28-32 (2012)

山本博法, 端 良太, 花岡良一, 高田新三, 高本清, 金田尚士, 絶縁油中を進展する交流沿面放電の特性, 電学全国大会, 第 1 分冊, 広島, pp. 1-051 (2012)

端 良太, 山本博法, 宮城克徳, 花岡良一, 菜種油中の交流沿面放電による放電エネルギーの経時変化, 電気関係学会北陸支部連合大会, 富山, A-42 (2012)

#### 〔図書〕(計 2 件)

花岡良一, 電子機器発火: 液体・固体誘電体材料の絶縁破壊・劣化メカニズム, (株)技術情報協会, pp. 258-264, (2014. 7 発刊)

花岡良一, 液体誘電体の新規開発による環境適合型絶縁設計技術, 「封止技術」<先端エレクトロニクス分野>封止・シーリングの材料設計とプロセス技術, (株)技術情報協会, No. 1723, pp. 226-231, (2013. 8 発刊)

花岡良一, 放電ハンドブック(第 7 版), 第 3 編, 第 10 章, 10.8 節, オーム社 (2013.4)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

花岡 良一 (HANAOKA, Ryoichi)  
金沢工業大学 工学部 教授  
研究者番号: 90148148