

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 24 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2013

課題番号：25630109

研究課題名(和文) 高分子溶解超純水を複合絶縁に適用する研究

研究課題名(英文) Fundamental research of the polymer dissolved ultrapure water applied to composite insulation

研究代表者

花井 正広 (Hanai, Masahiro)

名古屋大学・エコトピア科学研究所・教授

研究者番号：00587446

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：0.055 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の超純水では、絶縁破壊電界は14 kVrms/mmでほぼ一定であることが分かった。純水の絶縁破壊電界は、導電率の増加と共に低下する傾向にあることが分かった。高分子であるメチルセルロース25を添加した純水は、導電率の上昇を抑制した。また、絶縁破壊電界は超純水とほぼ同じであった。PFAで被覆した電極を用いた複合絶縁構成で絶縁破壊試験から、破壊電界の高い被覆材料を使用するか、相対的に厚い被覆材料にする必要があることが分かった。

研究成果の概要(英文)：In ultrapure water of 0.055 micro S / cm, we found that dielectric electric field is nearly constant at 14 kVrms / mm. Dielectric breakdown field of pure water was found to tend to decrease with increasing conductivity. Suppress the increase in conductivity of the water by adding (methylcellulose 25) polymer. Dielectric breakdown field of the water by adding polymer (methylcellulose 25) was substantially the same with ultrapure water. We performed the dielectric breakdown test with a composite insulating structure using a PFA coated electrode. We found that it is necessary to use a coating material having a high breakdown electric field, or it is necessary to use a relatively thick coating material.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：超純水 高分子 複合絶縁 絶縁破壊 比誘電率

1. 研究開始当初の背景

電力システムに使用されている電力用変圧器は高い品質が必要とされている。従来、電力用変圧器には、安定して高い絶縁耐力と冷却能力を有する鉱油が絶縁油として用いられてきた。しかし、地震などにより事故が発生し、変圧器から鉱油が漏れる可能性がある。この場合、鉱油は自然界では容易に分解されず、環境に対して大きなダメージを与える。そこで、高い絶縁耐力と冷却特性を持ちながら、変圧器から漏れた場合でも環境に負荷を与えない液体絶縁材料を用いた変圧器が潜在的に必要とされている。

2. 研究の目的

本研究は、超純水に高分子を溶解させて抵抗率を上昇または維持させると共に、鉱油の約 1/3 の高い絶縁性能を維持させて、環境に負荷を与えないすぐれた絶縁媒体として使用が可能であるか明らかにすることを目的にしている。そして、水の比誘電率が約 80 と高い特徴を生かし、固体絶縁物との複合絶縁で固体絶縁物に大きな電位分担を持たせたコンパクトな絶縁構成の構築の基礎特性を明らかにすることも目的としている。

3. 研究の方法

(1) 試験装置の構築

①超純水の絶縁破壊試験装置

図1に水の導電率が $0.055 \mu\text{S}/\text{cm}$ の場合の絶縁破壊試験装置を示す。水道水を超純水発生装置に通して超純水にし、PFA製のパイプを通して図2に示す絶縁破壊試験用電極に導入した。水の温度を摂氏 25 度一定にするためにらせん状の PFA ホースを、温度を制御し

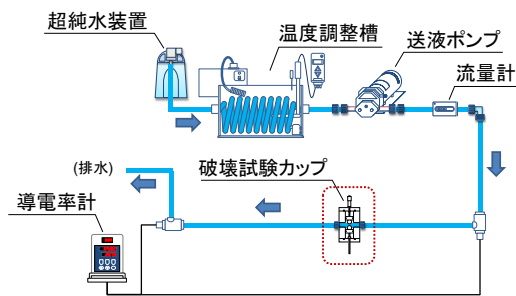


図1 超純水絶縁破壊試験装置

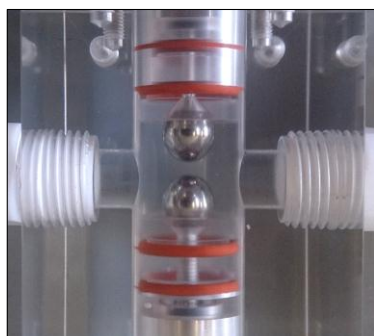


図2 絶縁破壊試験電極

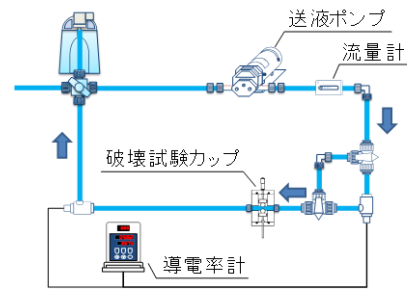


図3 純水絶縁破壊試験装置

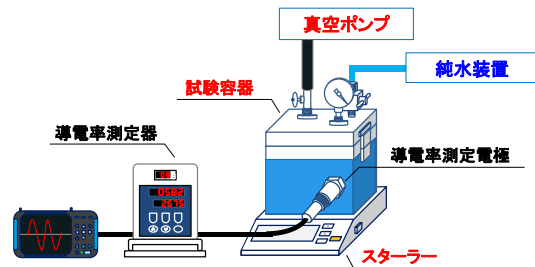


図4 導電率測定装置

た水を張った温度調整槽を通した。温度調整槽にはヒーターおよび冷却装置が設置されており温度制御により摂氏 25 ± 1 度で制御が可能である。また、絶縁破壊試験用電極の前後に導電率計を設置して導電率を測定し、試験中の水の状況を監視可能である。

絶縁破壊試験用電極として、ねじ穴加工を施した直径 12.5 mm のステンレス製のボールベアリング球電極を用いた。球電極はアクリル製の容器中に取り付けており、マイクロメータを用いて球電極間のギャップ調整が可能である。被覆電極の試験の場合には、ボールベアリングに被覆加工を施した電極を用いておこなった。

②純水の絶縁破壊試験装置

図3に水の導電率が $0.055 \mu\text{S}/\text{cm}$ より高い場合の絶縁破壊試験装置を示す。基本的な構成は図1と同じであるが、超純水を循環する系統の配管内部に入れた後、超純水装置を介さずに循環させるようにした。

③導電率測定装置

図4に水に高分子材料を添加したときの導電率を測定する導電率測定装置を示す。容器内に高分子材料を入れた後に真空引きをした状態で、超純水装置から超純水を注入することで高分子添加純水を生成した。注入した超純水が 1 リットルになった時点で、テフロン製の攪拌棒を回転させる溶解を開始した。導電率測定には、図1に示した導電率測定電極と同じものを取り付けて測定した。

測定時間は、容器内の水の攪拌を開始した時点を基準とした。

(2) 超純水の絶縁破壊試験

導電率を $0.055 \mu\text{S}/\text{cm}$ と一定とした超純水の破壊電圧を、図 1、図 2 の試験装置を用いて、球電極間に周波数 60 Hz の交流電圧を $3 \text{ kV}_{\text{peak}}/\text{s}$ の昇圧速度で上昇させて求めた。この場合の水の温度は摂氏 25 ± 1 度、ホース部分での水の流速は約 $30 \text{ cm}/\text{秒}$ である。球ギャップ間を各々 1、2.5、4、5 mm の場合について 20 回破壊試験をおこなった。

導電率を 0.055 から $0.15 \mu\text{S}/\text{cm}$ の間で変化させた場合の超純水の破壊電圧は、図 3、図 2 の試験装置を用いて求めた。球電極間に周波数 60 Hz の交流電圧を $3 \text{ kV}_{\text{peak}}/\text{s}$ の昇圧速度で上昇させて求めた。この場合は、ギャップ長を 2.5 mm と一定にして、水の温度は摂氏 25 度、ホース部分での水の流速は約 $30 \text{ cm}/\text{秒}$ である。交流破壊電圧を 50 回測定した。

(3) 複合絶縁構成での純水の絶縁破壊試験

図 1 の試験装置を用いて、複合絶縁構成として、絶縁距離 2.5 mm に対して、純水 2.3 mm 、絶縁物 0.2 mm とした。対向する直径 12.5 mm のステンレス製球電極に 0.1 mm の PFA 樹脂を被覆したものを用いて、両側の被覆厚さの合計 0.2 mm となる。ギャップ長は被覆厚さを含んで 2.5 mm となるようにした。

導電率を $0.055 \mu\text{S}/\text{cm}$ と一定とした超純水を用いて、超純水の絶縁破壊電圧の測定と同じ、水温、流速、電圧印加方法を用いて破壊電圧を求めた。この条件で流破壊電圧を 6 回測定した。

(4) 高分子添加による純水の導電率変化

図 4 の試験装置を用いて、超純水に高分子材料としてメチルセルロース 25 を 3 ppm 添加した場合の導電率の変化を観測した。添加後 3 時間の測定を行った。

(5) 高分子添加純水の絶縁破壊試験

図 3 の試験装置を用いて、超純水の絶縁破壊試験と同様の水温、流速においてギャップ長を 2.5 mm とし、周波数 60 Hz の交流電圧を $3 \text{ kV}_{\text{peak}}/\text{s}$ の昇圧速度で上昇させて破壊電圧を求めた。高分子材料としてメチルセルロース 25 を 3 ppm 添加して絶縁破壊電圧を求めた。高分子添加純水を用意した。その後、導電率を測定しながら交流破壊電圧を 25 回測定した。

4. 研究成果

(1) 超純水の絶縁破壊電圧

① 導電率 $0.055 \mu\text{S}/\text{cm}$ の破壊特性

図 5 に超純水の交流絶縁破壊電圧の結果を示す。ギャップ長の増加とともに破壊電圧がほぼ比例して上昇している。また、図 6 に示すように $0.055 \mu\text{S}/\text{cm}$ の超純水の絶縁破壊電界のギャップ長依存性はほとんど無く、 $14 \text{ kV}_{\text{rms}}/\text{mm}$ でほぼ一定であることが分かった。一般的に、液体絶縁物においては、異物や不

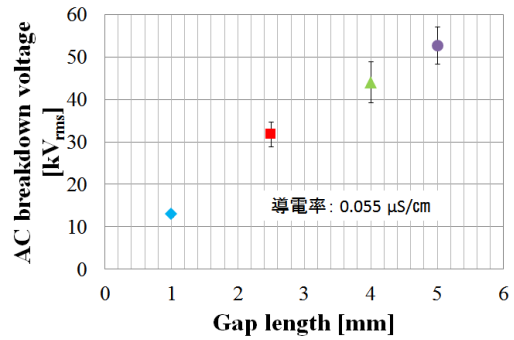


図 5 超純水の絶縁破壊電圧のギャップ長依存性

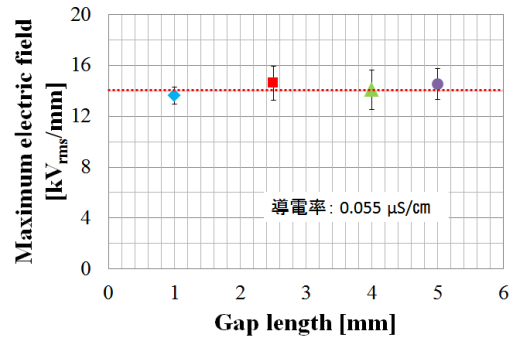


図 6 超純水の絶縁破壊電界のギャップ長依存性

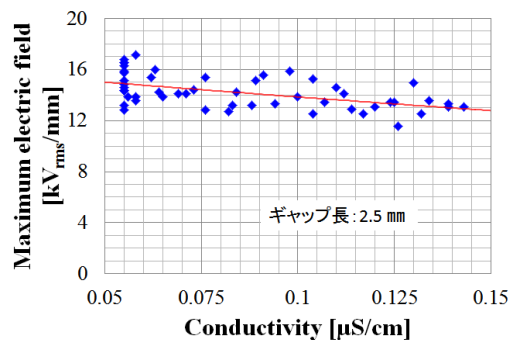


図 7 絶縁破壊電界の導電率依存性

純物を要因とする弱点部分で破壊するため、ギャップ長や体積の増加と共に絶縁破壊電界は低下することが多い。しかし、超純水にはその傾向が見られず、弱点破壊でないことが考えられる。

② 導電率 0.055 から $0.15 \mu\text{S}/\text{cm}$ の破壊特性

絶縁破壊電界の導電率依存性を図 7 に示す。導電率の増加と共に絶縁破壊電界は低下する傾向にある。導電率の増加によって純水中を流れる電流によって発生する抵抗損による熱量が増大して絶縁破壊が発生したと考えられる。

(2) 複合絶縁構成での部分放電発生電圧

図 8 に PFA 被覆された球電極における絶縁特性を示す。ギャップ長 2.5 mm における超純

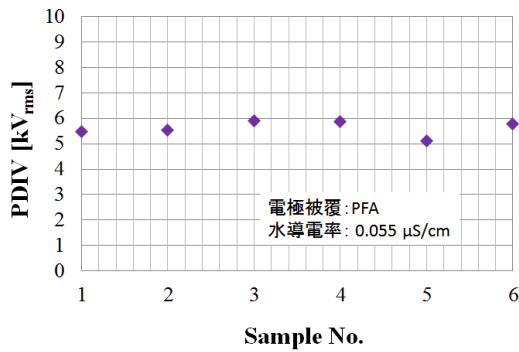


図 8 複合絶縁構成での部分放電発生電圧

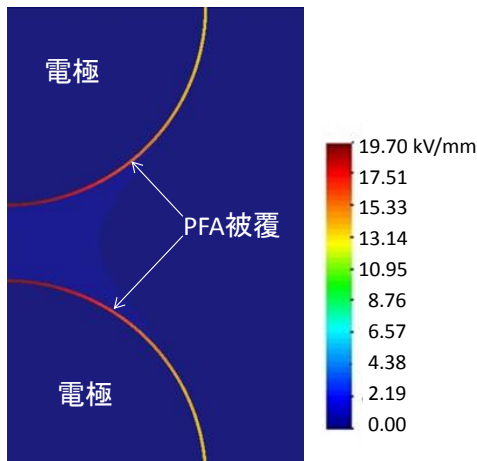


図 9 複合絶縁構成での電界分布

水単体の絶縁破壊電圧が約 32 kV であるのに対し、複合絶縁においては発光を伴う部分放電が約 6 kV で発生した。図 9 に電極に 5 kV を印加した場合の電界解析結果を示す。水の比誘電率が約 80 に対して、PFA は約 2.1 であるために、PFA 側に水に対して約 38 倍の電界が加わる。このため、6 kV 印加時には 2.3 mm ギャップの水には約 1.4 kV が分担し、電界は 0.61kV/mm となり超純水の絶縁破壊電界よりも低い。一方、被覆には約 4.6 kV が分担し、PFA に加わる電界は PFA の破壊電界と言われている約 23kV/mmになる。図 10 に示すように被覆に加わる電界が 22~24 kV/mm で部分放電が発生するのは PFA の被覆が絶縁破壊したために発生していると考えられる。しかし、被覆が絶縁破壊して全電圧 6kV が 2.3 mmの純水に加わっても絶縁破壊しないため発光を伴う部分放電となっていると考えられる。

(3) 高分子添加による純水の抵抗率変化

図 11 にメチルセルロース 25 を添加した純水の導電率測定結果を示す。時間の経過とともに超純水もメチルセルロースを添加した純水も導電率が上昇している。この原因として導電率測定用の容器並びに導電率測定用電極から導電性イオンが溶け出していることが予想される。しかし、メチルセルロース

を添加した純水は、何も添加していない純水と比較して導電率の上昇が遅いことが分かる。これは純水にメチルセルロースが溶解しているため、新たに導電性のイオンを溶解しにくいことが考えられる。このことから、メチルセルロースを代表とする高分子を添加することで導電率を低く維持できる可能性があることが明らかになった。

(4) 高分子添加純水の絶縁破壊特性

図 12 にメチルセルロース 25 を添加した純水の絶縁破壊電界と純水の絶縁破壊電界の結果と共に示す。メチルセルロースが添加されている場合でも、ほぼ純水と同じ電界で絶

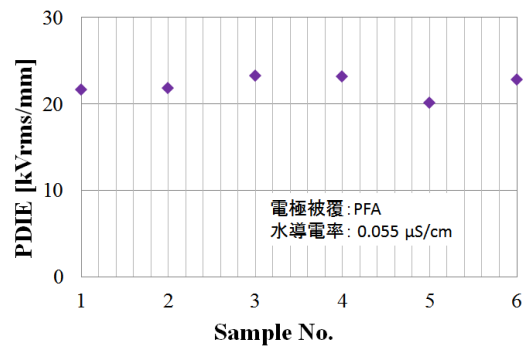


図 10 複合絶縁構成での PFA 被覆部分での部分放電発生電界

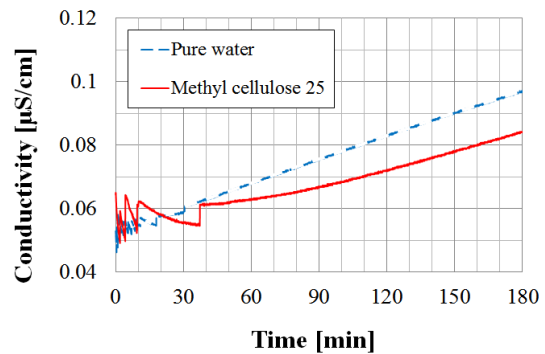


図 11 メチルセルロース 25 を添加した純水の導電率

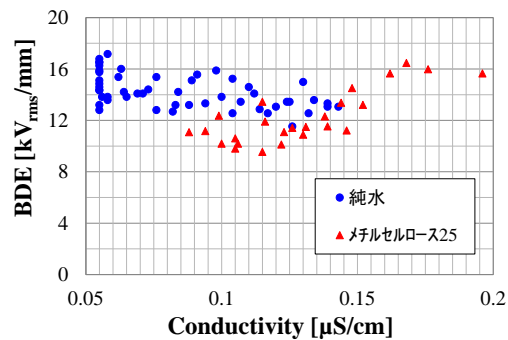


図 12 メチルセルロース 25 を添加した純水の絶縁破壊電界

縁破壊を発生している。このことからメチルセルロースを代表とする高分子を添加しても破壊電圧が低下しないことが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 1 件)

佐藤広治、小島寛樹、花井正広、加藤克巳、早川直樹：「超純水の短ギャップ交流絶縁破壊特性」、平成 26 年電気学会全国大会、愛媛大学城北キャンパス、3 月 18～20 日 (2014)2-043

6. 研究組織

(1) 研究代表者

花井 正広 (HANAI, Masahiro)

名古屋大学・エコトピア科学研究所・寄附研究部門教授

研究者番号：00587446

(2) 研究分担者

早川 直樹 (HAYAKAWA, Naoki)

名古屋大学・エコトピア科学研究所・教授

研究者番号：20228555

(3) 連携研究者

加藤 克巳 (KATO, Katsumi)

新居浜工業高等専門学校・電気情報工学科・准教授

研究者番号：20293665

(4) 研究分担者

大久保 仁 (OKUBO, Hitoshi)

愛知工業大学・工学部電気学科・教授

研究者番号：90213660