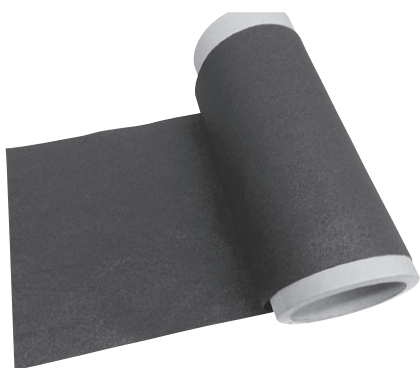


電界緩和非線形抵抗テープの開発

佐々木圭太 Keita Sasaki
櫻井 登 Noboru Sakurai
大石和城 Kazuki Oishi

キーワード 高圧回転機、電動機、電界緩和、電界解析、非線形抵抗材料、マイクロバリスタ

概要



電界緩和非線形抵抗テープ（シート）

近年、パワーエレクトロニクス技術の進展に伴い、各種電気機器の高電圧化、高周波数、小形・縮小化の要求が高まっており、電気絶縁に対するストレスを緩和する電界緩和技術の重要性が増している。

非線形抵抗材料は、使用電界によって抵抗率が変化する、いわゆるバリスタ特性を持つ電界緩和技術に必要不可欠な材料で、避雷器・ガス絶縁開閉装置（GIS）・回転機・パワー半導体などに利用されている。

当社の酸化亜鉛材料技術を応用し、酸化亜鉛バリスタと樹脂との複合化によって、新たな非線形抵抗材料の研究開発を行った。

1 まえがき

近年、各種電気機器の高電圧化、高周波、小形・縮小化の要求が高まっており、電気絶縁に対するストレスを緩和する電界緩和技術の重要性が増してきている。

流体機械でも、省資源・高効率化による環境負荷低減を目指したインバータ駆動電動機の大容量化・高速回転化の要求があり、高電圧化・高周波化が進み、電界緩和技術の重要性が増している。特に、これまでの商用周波数では問題の無かった固定子巻線端部での電界集中に起因する放電・発熱が課題となっている。

当社では長年、非線形抵抗材料である酸化亜鉛素子を製造し、避雷器に使用して販売してきた。非線形抵抗材料は使用電界によって抵抗率が変化する、いわゆるバリスタ特性を持つ電界緩和に必要不可欠

な材料で、避雷器・ガス絶縁開閉装置（GIS）・回転機・パワー半導体に利用されている。当社は、電動機の高電圧化・高周波化に対応するため、当社の酸化亜鉛材料技術を応用し、マイクロファイバー化した酸化亜鉛バリスタと樹脂との複合化による新たな電界緩和テープを開発した。また、これを用いて回転機固定子コイル巻線端部の課題解決を検証した。本稿では、電界緩和テープの試作と評価を紹介する。

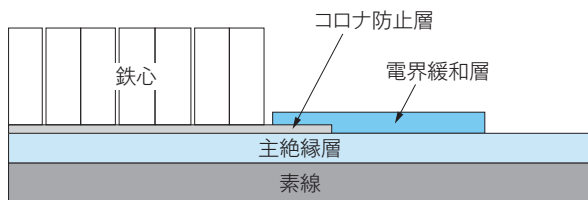
2 電界緩和に関する課題と対策

第1図に回転機固定子コイル巻線端部の電界緩和構造を示す。回転機固定子コイル巻線の端部では、コロナ防止層端部と鉄心外の主絶縁間で急激に電位が変化することで電界集中し、放電や発熱が起こり短時間破壊の原因となる。従来、非線形抵抗材料である炭化ケイ素などを使用した電界緩和層に

よって、急激な電位変化を抑制することで放電を抑制し、短時間破壊を防いできた。

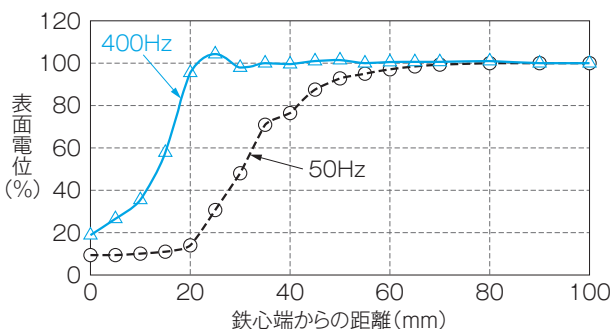
近年求められている大容量・高速な電動機は、高電圧で数百Hzの周波数で駆動される。しかし、高周波化に伴い従来の電界緩和層では急激な電位変化を抑制できず、電界集中による放電や発熱が起こり、短時間破壊するという課題がある。

第2図に従来の電界緩和層の商用周波（50Hz）と高周波（400Hz）における1500V印加時の表面電位比較結果を示す。高周波では商用周波と比較し、表面電位が急激に立ち上がり、電界緩和効果が小さくなっている。優れた非線形特性を持つ当社の避雷器用酸化亜鉛素子は、高周波での電界緩和にも効果があると推測し、試作・評価と電界解析の結果、有効である可能性を見いだした。酸化亜鉛材料技術を採用し、酸化亜鉛マイクロバリスタフィラーを作製して、導電性材料や樹脂などと混合して塗料化し、ガラスクロスに塗布して電界緩和テープを試作した。試作したテープを高周波・高電圧対応電界緩和テープとして評価した。



第1図 電界緩和構造

回転機固定子コイル巻線端部の電界緩和構造を示す。



第2図 表面電位計測結果（周波数比較）

従来の電界緩和層の商用周波（50Hz）と高周波（400Hz）における1500V印加時の表面電位計測結果を示す。50Hzと400Hzを比較し、高周波になると表面電位が急激に立ち上がることが分かる。

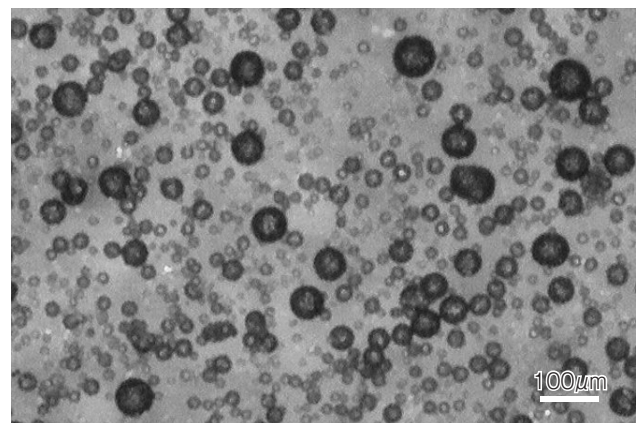
3 高周波対応電界緩和テープの基礎特性

3.1 高周波対応電界緩和テープの仕様

第3図に当社の酸化亜鉛素子の技術を採用して作製した酸化亜鉛マイクロバリスタフィラーを示す。試作したテープは、基材のガラスクロスの両面に、樹脂と混練した酸化亜鉛マイクロバリスタフィラー層を形成している。

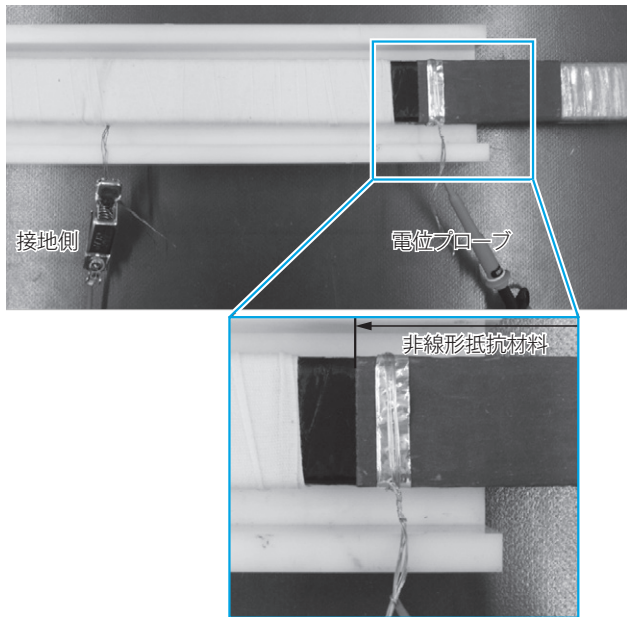
3.2 電気特性

電界緩和効果を確認するため電界緩和テープを使用したサンプルコイルを作製し、表面電位を実施した。**第4図**に計測状況を示す。電界緩和材料にカーボン・炭化ケイ素（従来の材料）・酸化亜鉛を使用した三種類のサンプルコイルを用意した。コイルに正弦波電圧を印加し、電界緩和材料の表面に巻き付けたアルミ線から電位プローブを介して電位を計測した。アルミ線は電界緩和材料の端部を0として、コイルの長さ方向に5mm刻みでシフトさせて各位置の電位を読み取った。**第5図**に各材料の表面電位計測結果を示す。従来の材料と比較し、全ての位置で電位は低くなっており、酸化亜鉛材料が有効であることが分かる。ただし、電界は15～20mmの位置で電位の傾きが大きくなっているため、材料の配合やテープの巻き方など改良すべき点がある。



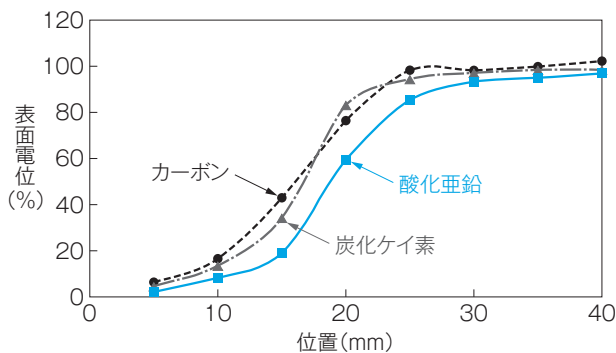
第3図 酸化亜鉛マイクロバリスタフィラー

避雷器用酸化亜鉛素子の技術を採用して作製した酸化亜鉛マイクロバリスタフィラーの顕微鏡写真を示す。



第4図 表面電位計測状況

サンプルコイルの表面電位計測状況を示す。

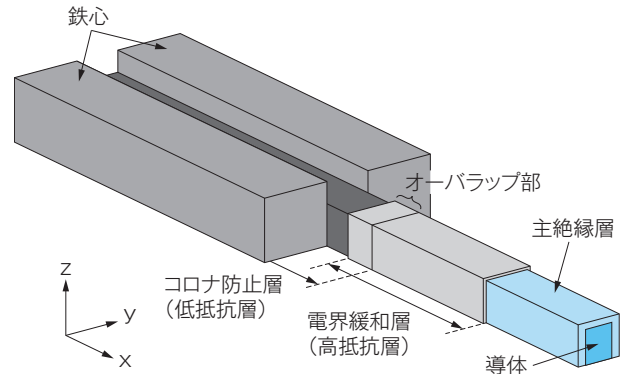


第5図 表面電位計測結果

従来の材料と比較し、全ての位置で電位は低くなっており、酸化亜鉛材料が有効であることが分かる。ただし、15~20mmの位置は改善すべき箇所である。

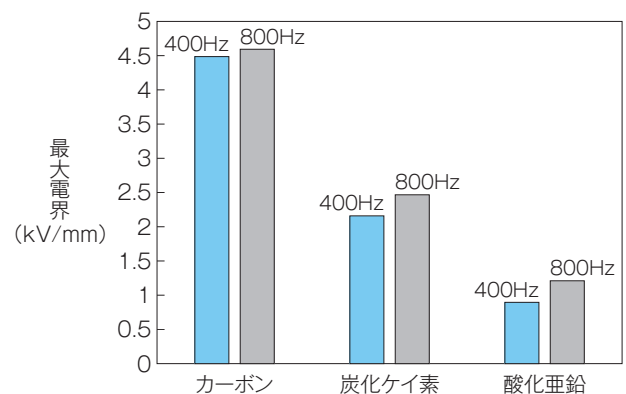
3.3 解析モデルによる電界緩和効果の検証

各材料特性を基に電界伝熱連成解析による電界緩和効果を確認した。解析は、汎用マルチフィジックソフトCOMSOL Multiphysicsを使用した。固定子コイル終端部を模擬した3Dモデルを作成し、各種材料パラメータ・入力・境界条件を設定し、電界と伝熱の強連成周波数定常解析を実行した。第6図に固定子コイルの3Dモデルを示す。本解析の特徴として、高抵抗層の電流-電圧特性を体積抵抗率-電界特性に換算し、高抵抗層の非線形材料特性を反



第6図 固定子コイル 3Dモデル

連成解析に用いた3Dモデルを示す。



第7図 連成解析結果

解析結果の一例として、各種材料における最大電界値を示す。炭化ケイ素と比較すると酸化亜鉛は最大電界が50%程度低減できる結果を得た。

映させた。第7図に連成解析結果の一例として、各種材料における最大電界値を示す。電界集中の箇所はいずれも低抵抗層と高抵抗層のオーバラップ部であり、結果から炭化ケイ素と比較すると酸化亜鉛は最大電界が50%程度低いことが確認できた。一方で、3.2項で実施した電界計測と解析結果を比較すると、オーバラップ部での電界緩和効果が小さいことが確認できている。今後は、解析精度の向上が課題である。

4 むすび

当社の避雷器用酸化亜鉛素子の技術を応用した高周波対応の電界緩和テープの試作・評価を実施した。実測と解析から、酸化亜鉛の持つ非線形特性を

有効に活用することで、電源周波数が高い領域でも異常な電界集中を防ぎ、高周波対応絶縁システムを実現できることが分かった。

今後も電動機的高速化・大容量化に向けた検討を材料面から行い、市場の期待に応じていく。

- ・COMSOL Multiphysicsは、COMSOL ABの登録商標である。
- ・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。

《執筆者紹介》



佐々木 圭太
Keita Sasaki

先進技術研究所
高圧回転機の絶縁開発に従事



櫻井 登
Noboru Sakurai

先進技術研究所
高圧回転機の絶縁開発に従事



大石 和城
Kazuki Oishi

先進技術研究所
高圧回転機の絶縁開発に従事
