

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 田中大樹

誘電体表面上を進展する沿面放電は気中放電に比べて進展しやすく、電力機器や電子素子の絶縁設計上その抑制が重要となる一方、沿面放電で発生した放電プラズマは、有害ガス処理に利用されるなど工学的応用範囲も広いことから、その進展特性の解明が望まれている。本論文は、空気や SF<sub>6</sub> ガス中の沿面放電を対象として、高時間分解能を有する二次元ポッケルスセンサシステムを用いて、放電進展時の物理パラメータを集積し、また、数値シミュレーション手法により、進展時の放電内部様相を解析し、それらを合わせて進展機構を検討したもので、「気体中沿面放電の進展機構」と題し、全 10 章から構成されている。

第 1 章「序論」では、本研究の背景である沿面放電について述べた後、その測定手法であるポッケルスセンサシステム、数値流体力学を用いた数値解析手法の概要について説明し、本研究の目的を示している。

第 2 章「誘電体バリア放電および沿面放電の基礎特性」では、本研究で解明の対象としている誘電体バリア放電および沿面放電の基礎特性について述べている。また、沿面放電の場合については有力なモデルが未だに存在しないという現状について述べている。

第 3 章「ポッケルス効果を用いた電位・電界分布測定システム」では、沿面放電発生時に誘電体表面上の電位・電界分布を測定するためのポッケルスセンサシステムについて説明している。本研究で用いた 2 次元ポッケルスセンサシステムは、ダイオード励起固体パルスレーザ、光学系、CCD カメラから構成され、ポッケルス結晶上の領域を最高 0.5 ns の高時間分解能で単発測定することが可能である。空間分解能は、電位分布については 100 $\mu$ m、電荷密度分布は逆計算を含めると 0.64 mm である。

第 4 章「ポッケルスセンサおよび高速度フレーミングカメラによる沿面放電測定」では、前章のシステムを用いて、大気圧空气中、減圧空气中、SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub> 混合ガス中、SF<sub>6</sub> 中ガス中におけるストリーマとリーダの測定を行い、併せて高感度高速度カメラによる放電に伴う発光の観測も行い、それらの結果を詳述している。

大気圧空气中の正極性沿面ストリーマでは、ストリーマヘッドにおいて進展方向電界成分が大気圧空氣の臨界電離電界 2.4 kV/mm に近い値で、またストリーマチャンネルではほぼ 0.5 kV/mm 一定であり、進展に要する時間は 50 ns 程度である。帯電電荷密度はストリーマチャンネルにおいて 200 pC/mm<sup>2</sup> 一定であり、針電極周辺では、電極に近づくほど増加する。

大気圧空气中の負極性沿面ストリーマでは、ストリーマヘッドにおいて進展方向電界成分が大気圧空氣中の臨界電離電界を少し超える 3.2 kV/mm 程度で、進展に要する時間は 25 ns 程度であるが、正極性沿面放電に比べて進展長が短い。帯電電荷密度は針電極近傍で -400 ~ -600 pC/mm<sup>2</sup> であり、電極からの距離に従い緩やかに密度が低下する。

沿面ストリーマから沿面リーダへの転換は、既に進展したストリーマの 1 本が発光を伴ってリーダ

チャンネルへと変化することによることが確認され、転換後にリーダ先端から次のストリーマ群が発生する。ストリーマからリーダへの転換においては、背後電極を流れる電流はほぼ 0 であった。

第 5 章「シミュレーション手法」では、放電シミュレーションに用いた手法について述べている。計算には電界を計算するためのポアソン方程式、電子、正・負イオンの移流拡散、電離、付着、再結合、光電離を計算するための連続の式、電離・付着の係数を計算するためのボルツマン方程式を用いている。計算領域を三角形メッシュで分割し、ポアソン方程式および連続の式の離散化には有限要素法を用いている。

第 6 章「シミュレーション結果」では、大気圧空気中における正負極性の気中ストリーマと沿面ストリーマのシミュレーション結果について述べている。

正極性沿面ストリーマは誘電体表面から  $50\mu\text{m}$  ほど浮いて、両者間に正イオンが多く、電子が少ない陰極降下領域を作りながら進展する。誘電体表面の帯電は正イオン衝突によって数 ns 程度の時間をかけて発生する。帯電電荷密度は針電極周りで多く、ストリーマチャンネル部分においては  $300\text{ pC/mm}^2$  ほど一定となる。ストリーマヘッドにおける換算電界の水平方向成分は  $1000\text{ Td}$  程度に達するが、誘電体表面においては  $100\text{ Td}$  程度となる。

負極性沿面ストリーマは誘電体バリア表面に沿って進展する。誘電体表面の帯電は電子の衝突によってなされる。電子のドリフト速度は正イオンに比べて 100 倍程度速いため、ほぼストリーマ到達とともに、誘電体表面の電界の垂直方向成分が緩和されるまで帯電する。帯電電荷密度は針電極近傍で  $-600\text{ pC/mm}^2$  であり、電極からの距離に従い緩やかに低下し、ストリーマ先端近傍で約  $-400\text{ pC/mm}^2$  となっている。誘電体表面におけるストリーマヘッドの換算電界の進展方向成分は  $150\text{ Td}$  程度であり、進展長は  $3.4\text{ mm}$  である。

シミュレーション結果は、ポッケルスセンサシステムを用いた測定結果とよく一致している。

第 7 章「考察」では、ポッケルスセンサシステムより得られた結果と数値シミュレーションから得られた結果について比較を行い、沿面放電の進展・停止機構について考察を行っている。沿面ストリーマについては、数値シミュレーションによって、その特性を模擬できており、これにより進展特性を説明することができる。ストリーマからリーダへの転換条件について、プリカーサモデルを基に考察ができることを述べている。

第 8 章「結論」では、以上の成果をまとめ、内容を総括している。

第 9 章「今後の方向性」では、本研究で示された沿面放電進展モデルの更なる精緻化を行うために必要となる、実験および数値シミュレーション手法の方向性を提案している。

以上これを要するに、本論文は、電気機器の絶縁設計や放電プラズマ応用において進展特性の解明が待たれている沿面放電について、放電物理パラメータの測定と数値シミュレーションの両面から検討を進め、その構成要素である沿面ストリーマの定量的な進展モデルおよびストリーマからリーダへの変換モデルを構築している点で、電気工学、特に高電圧、放電工学に貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。