

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13134 号
------	---------------

氏 名 梶 武文

論 文 題 目

インバータ駆動モータ巻線の部分放電開始電圧に及ぼす環境要因の影響に関する研究

(Effects of Environmental Factors on Partial Discharge Inception Voltage of Magnet Wires for Inverter-fed Motors)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	早川 直樹
委員	名古屋大学	教授	横水 康伸
委員	名古屋大学	准教授	小島 寛樹
委員	豊橋技術科学大学	准教授	村上 義信

論文審査の結果の要旨

梶武文君提出の論文「インバータ駆動モータ巻線の部分放電開始電圧に及ぼす環境要因の影響に関する研究」は、車載用インバータ駆動モータにおける絶縁設計の高精度化および高信頼度化を目的として、繰り返しサージ電圧下におけるエナメル線の部分放電開始電圧(PDIV)について、環境要因の相互作用を考慮して解明したものである。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、車載用モータにおけるインバータの高速スイッチングに伴う繰り返し急峻波電圧(インバータサージ電圧)に対する研究動向と技術課題を述べている

第2章では、正弦波電圧において環境および材料がPDIVに与える影響を考慮した複合的影響を明らかにするとともに、複合的影響を考慮したPDIVの解析手法を検討した。その結果、以下を明らかにした。

(1) 環境因子(温度、気圧)がPDIVに与える影響は、空気密度を考慮したパッシェンカーブと、空気の分担電圧から解析的に求めることが可能である。

(2) 皮膜水分量の増加は絶縁皮膜の比誘電率を増加させ、空気の分担電圧を増加させることでPDIVを低下させると考えられる。皮膜水分量による比誘電率の変化は、Lichtenekerの対数式を用いて計算可能である。

(3) 絶縁皮膜の熱劣化は、比誘電率の上昇および皮膜厚の低下が原因となり、PDIVを変化させる。そのため、この2つの要因を考慮することで、実験値とより良く一致する解析が可能である。

(4) PAIの絶縁皮膜において、複合的な影響(温度および気圧、熱劣化)を考慮しPDIV解析した結果、実験値と最大で6%以内の解析が可能である。また、他樹脂の絶縁皮膜においても、実験値に対して10%以内で解析可能である。

第3章では、サージ電圧下のPDIVに環境要因が与える影響を評価し、環境変化によってPDIVが変動するメカニズムを明らかにした。その結果、以下を明らかにした。

(1) サージ電圧下のPDIVは、温度と湿度および気圧と湿度の複合的影響を受けて変化する。そのため、湿度無制御下においては、低温域(25°C~100°C)や低圧領域(60kPa~20kPa)で、環境変化(温度上昇、気圧低下)に伴う相対湿度低下の影響を受けて、PDIVが上昇する。一方、湿度制御下においては、温度上昇や気圧低下に対してPDIVは単調に低下し、そのPDIVは湿度が低いほど高い。

(2) サージ電圧下のPDIVは、環境要因に加えて皮膜水分量の影響を受ける。同じ環境であった場合には、皮膜水分量が多いほどPDIVが低下するため、皮膜水分量の異なる湿度無制御時の昇温・降温および減圧・増圧では、過渡的な現象としてPDIVヒステリシスが生じる。皮膜水分量が初期電子発生確率に影響するメカニズムは、皮膜から水分が放出され空気ギャップが高湿度化し、気体からの初期電子発生確率が上昇すること、また、皮膜の第一イオン化エネルギーが低下し皮膜からの初期電子発生確率が上昇することが原因と考えられる。

第4章では、第3章の評価結果を重回帰分析することで、サージ電圧下のPDIVを変化させる影響因子とその影響度を明らかにし、その解析に基づいて、気体負イオン密度の観点から、それぞれの影響因子がサージ電圧下のPDIVに及ぼす物理的なメカニズムを明らかにした。その結果、以下を明らかにした。

(1) 一次重回帰分析から、温度上昇および気圧低下によるPDIV低下および湿度上昇によるPDIV低下の挙動を定量化可能であり、その結果、湿度上昇がPDIV低下に及ぼす影響が最も強いことが明らかとなった。

(2) 各環境要因の3次項と環境相互作用項の11項を考慮した高次重回帰分析によって、回帰式による実験値解析精度は4.6%まで向上するが、明確な影響要因が不明確となることから、この解析はオーバーフィッティングであると考察した。

(3) 高次重回帰分析を考えられる組み合わせの全54通りを実施し、計算値と実験値の平均PDIV差を導出し、式の項数と平均PDIV差の分布を求めることでサージ電圧下のPDIVに与える環境要因の影響を考察した。その結果、湿度が3次関数で影響すること、相互作用(特に気圧と湿度の相互作用)の影響が強いことを示した。

(4) 湿度上昇は、気体負イオン密度を3次関数として増加させる。これが、湿度がサージ電圧下のPDIVに対して3次関数で影響した原因であり、この変化は気体平衡論の考え方から影響を考察可能である。

(5) 気体負イオン密度には、温度と湿度および気圧と湿度の相互作用が存在し、これがサージ電圧下のPDIVに対して環境相互作用が存在した理由である。湿度が増加するほどに負イオン密度は増加するが、具体的な負イオン密度の値や負イオン密度の状態は、温度と気圧の影響を複合的に受けて決定される。

第5章では、各章で明らかになった知見および物理的メカニズムをまとめ、本研究の成果および今後の展望について示した。

以上のように、本論文は、車載モータの高信頼性・合理的な絶縁設計に向けて、実際の絶縁性能に環境や材料が複合的に影響するメカニズムを解明するものであり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である梶武文君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。