

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 11457 号
------	---------------

氏 名 孔 飛

### 論 文 題 目

真空中における複合絶縁系の放電特性に関する研究  
(Discharge Characteristics for Composite Insulation System in Vacuum)

### 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	松村 年郎
委員	名古屋大学	准教授	小島 寛樹
委員	埼玉大学	准教授	山納 康

## 論文審査の結果の要旨

孔飛君提出の論文「真空中における複合絶縁系の放電特性に関する研究」は、真空遮断器内部の絶縁状態診断に向けて、放電開始・進展メカニズムに基づいて、外部から放電経路を識別する手法を提案している。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、真空遮断器の状態診断技術に関する研究開発動向とともに、真空遮断器内部における放電現象および放電パターンへの識別の必要性を述べている。

第2章では、真空インタラプタ内部におけるギャップ間の絶縁破壊 (BD) に注目し、陰極-陽極 (c-a) および陰極-シールド-陽極 (c-s-a) 電極構成を用いて絶縁破壊進展時間と電圧、ギャップ長の依存性を検討した。真空ギャップにおけるBD発生時において、BD進展時間 $T_{BD}$ は陰極に生じたカソードプラズマが陽極に到達する時間であると考えられ、 $T_{BD}$ は陰極先端の最大電界に依存せず、ギャップ長のみに依存する。この結果は、真空ギャップ長をBD進展時間から推定できることを示唆している。ギャップ間の絶縁破壊時には、ギャップ間の放電から放出された電子がシールド (浮遊電極) に到達することで、シールドに負極性の電位が過渡的に現れる。この電子放出は等方的になされ、シールド電位の推移により、絶縁破壊の発生位置 (シールドからの距離) を推定できる可能性がある。シールドを介するギャップ放電は、部分破壊PB (c-s) と全路破壊 (c-s-a) 2つの放電パターンに分類される。c-s間のPBに伴いシールド電位が陰極電位と同程度の値までステップ的に上昇し、印加電圧波形と陽極電流波形に高周波信号が現れる。全路破壊に至るまでに、c-s間のPBは発生と消滅を繰り返す、s-a間の破壊に伴い全路破壊に至る。

第3章では、真空インタラプタ内部における絶縁物を介する沿面放電に注目し、陰極-固定絶縁物-陽極 (c-i-a) 電極系を用いて、沿面放電進展時間 $T_{F0}$ と電圧、沿面距離の依存性を検討した。沿面放電時における陽極電流の上昇は、2段階 (SEEA機構による数A程度の電流上昇、放出されるガス中の電離による100 A程度の電流上昇) に類別された。沿面放電進展時間 $T_{F0}$ は $V_p^{-2}$  ( $V_p$ : EEE発生後の陰極電圧ピーク) に比例した。 $T_{F0}$ はEEE発生から導電チャネル形成までの時間と考えられ、 $T_{F0} \propto V_p^{-2}$ の関係はガス放出モデルによって説明される。沿面距離が長いほど $T_{F0}$ は単調に増加することから、 $T_{F0}$ と $V_p$ によって沿面距離を推定できる可能性を示した。

第4章では、陰極-シールド-絶縁物-陽極 (c-s-i-a) および陰極-絶縁物-シールド-陽極 (c-i-s-a) の2種類の電極系において、複合経路の放電発生・進展過程を検討した。c-s-i-aとc-i-s-aにおける複合放電経路はいずれもギャップ間のBDと絶縁物を介する沿面放電の組み合わせであり、それぞれを波形から分離・識別でき、各過程の放電特性は単一経路の放電特性と一致した。c-s-i-aにおけるc-s間の部分破壊PBでは、放電開始がc-s間の電位差に依存し、PB進展時間 $T_{PB}$ はc-s間の電位差に依存しない。c-s-i-aとc-i-s-aにおける全路破壊時のギャップ間絶縁破壊進展過程では、絶縁破壊進展時間 ( $T_{PB}$ ,  $T_{BD}$ ) は電極間の電圧に依存せず、ギャップ長の増加とともに大きくなる。c-s-i-aとc-i-s-aにおける全路破壊時の沿面放電進展過程では、沿面放電進展時間 $T_{F0}$ は $V_p^{-2}$  ( $V_p$ : EEE発生後の陰極電圧ピーク) に比例し、沿面距離の増加とともに大きくなる。以上より、真空インタラプタ内部の複合放電経路においても、単一経路の放電進展特性に基づいて放電箇所および放電経路を推定できると期待される。

第5章では、前章に検討した真空中複合絶縁系における放電特徴量を抽出し、放電進展特性に基づく放電経路の識別手法を確立し、VIモデルにおける検証実験を行った。真空中の各放電経路において取得された波形 (印加電圧波形、陽極電流波形、シールド電位波形) の特徴を抽出した。各放電経路で互いに特徴が一致するものはないことから、各放電経路を識別できた。各放電経路を識別し、さらに放電進展時間の経路長依存性に基づいて各放電経路の経路長を推定できた。

第6章では、本研究の結論を与えている。

以上のように、本研究で得られた成果は、真空中複合絶縁系における各放電の特性とメカニズムの学術的解明と放電経路識別手法への応用的提案およびその実験的検証であり、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孔飛君は博士 (工学) の学位を受けるに十分な資格があると判断した。