

報告番号	甲 第 13787 号
------	-------------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 電力機器の故障アークに起因する高温ガス
に対する公衆安全性に関する研究
(Study on Public Safety against Hot
Gases due to Fault Arc in Electric Power
Equipment)

氏 名 神足 将司

論 文 内 容 の 要 旨

現代社会における電力は、平常時だけでなく災害などの緊急異常時を含め、社会活動において必要不可欠な社会インフラシステムである。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震を受け、政府は、2018年7月に閣議決定された第5次エネルギー基本計画において、自然災害発生時においても安定した電力供給を実現するため、風力発電などの再生可能エネルギーを既存の電力系統へ導入するための2030年の長期エネルギー需給の見通し（エネルギーミックス）の実現に向けた取組みを更に推し進めていくことを宣言した。そのため、電力系統を構成する電力流通設備を管理・運用する電気事業者には、安全性の一つである公衆安全性の確保と電力の安定供給がより一層求められることが推測される。

電力流通設備における事故・故障の発生確率が零ではない限り、公衆安全性の確保と電力の安定供給を実現・継続していくためには、万一の事故・故障時への対策が重要となる。例えば、万一、電力機器内部で絶縁破壊などが生じた場合、その箇所には高いエネルギーを持つアーク放電が発生し、機器の破損に至り、電力の安定供給に支障をきたす場合がある。場合によっては、破損した機器から高温のガスが大気中へ噴出し、大規模な公衆災害を及ぼす可能性もある。従って、電力流通設備の事故や故障の際に発生するアーク放電（以下、故障アークと呼称する）に起因する様々な現象を明確化することで、当該設備の適切な管理・運用、ひいては、公衆安全性の確保と電力の安定供給の実現・継続に繋がると考えられる。

以上の背景の下、本研究では、電力流通設備の故障アークに起因する高温ガスに対する

公衆安全性について検討した。本論文は 6 章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第 1 章では、電力分野に関わる政府の動向、最大電力と変電設備箇所の推移を示し、電力システムを取り巻く現状を整理しつつ、公衆安全性の確保と電力の安定供給の実現・継続がより一層求められる背景について述べている。さらに、故障アーク現象の特徴を述べるとともに、電力流通設備で故障アークが発生した際に生じる圧力上昇・伝搬に関する研究動向を示しつつ、その課題について整理している。次に、電力流通設備が実系統に導入される前、国内外の大電力試験所では電力機器筐体の耐圧性能などを評価するため、各種関連規格に沿った形式試験が実施される。試験規格側の視点から、国内外の大電力試験所で実施される SF₆ ガス絶縁電力機器の空気による内部アーク代替試験に関して述べるとともに、試験を実施する上での課題について述べる。最後に、以上を踏まえ、第 2 章～第 5 章の書く目的、対象とした電力機器、およびキーワードを網羅した相関図を示し、本研究の目的や内容について述べている。

第 2 章では、圧力上昇・伝搬の様相を把握・評価することを目的とし、複数の油入電力機器が設置された大型電気室を対象に数値流体力学 CFD に基づいた三次元圧力上昇解析を実施し、故障アーク箇所から発生する圧力波による圧力上昇・伝搬について述べている。故障条件としては、油入電力機器内部での故障アークに伴い機器が破損し、その破損口から絶縁油が噴出し、着火・燃焼した場合を想定している。解析の結果、大型電気室内の圧力上昇・伝搬に及ぼす故障アーク箇所や体積、および開口部の位置の影響を解析面から明らかにした。なお、本解析モデルを用いることで、現場の状況に則した様々な条件下での圧力上昇・伝搬の様相を把握・評価することができるとともに、大型電気室の壁面の強度設計にも活用可能であると考えられる。

第 3 章および第 4 章では、第 5 章で述べる SF₆ ガス絶縁電力機器を対象とした空気による内部アーク代替試験法の提案を目指し、その提案に繋がる体系的なデータを構築するとともに、空気と SF₆ ガス中アーク発生時の圧力上昇や高温ガスによる周囲への熱的影響の差異を明らかにすることを目的としている。

第 3 章では、SF₆ ガス絶縁電力機器の内部アーク代替試験の条件であるガス種以外のパラメータ、すなわち、周波数、電流値、通電時間、初期充填ガス圧力値を同一とした場合における SF₆ ガスおよび空気中のアーク放電に伴う圧力上昇を実験面から明らかにした結果を述べている。さらに、実機器の初期充填ガス圧力値 0.6 MPa-abs を対象とし、SF₆ ガス中アーク放電に伴う圧力上昇に及ぼす電極材質の影響を明らかにした結果を述べている。以上の成果により、実機器を対象とした SF₆ ガスまたは空気中アークによる容器内部の圧力上昇の体系的なデータを取得し、SF₆ ガス絶縁電力機器を対象とした空気による内部アーク代替試験法の提案へ道筋をつけた。また、SF₆ ガス中アーク発生時の容器内部のエネルギー収支を SF₆ ガスの分解メカニズムと分解生成ガスおよびフッ化物の定性・定量分析結果に基づき検討している。これにより、CFD に基づいた圧力上昇の解析で重要なパラメータの一つ

であるアークエネルギーと圧力上昇に寄与するエネルギーの比 k_p に及ぼす電極材質や初期充填ガス圧力値の影響を明らかにしている。この成果は、実機器に使用されている金属材料の種類や初期充填ガス圧力値に応じて k_p を変えることで CFD に基づく圧力上昇解析に活用できると考えられる。

第 4 章では、電力機器から噴出した高温ガスによる周囲への熱的影響を評価するため、解析可能な温度範囲を 300 K~30,000 K へ拡張した SF₆ ガスと空気の質量分率に応じた熱力学・輸送特性を組込んだ解析モデルを構築するとともに、その妥当性を検証した結果を述べている。さらに、この解析モデルを用いて、ガス種以外のパラメータを同一とした高温の SF₆ ガスまたは空気が周囲へ及ぼす熱的影響を定量的に明らかにした結果を述べている。以上の成果により、同一条件下での高温の SF₆ ガスと空気の周囲への熱的影響の差異が明確となり、SF₆ ガス絶縁電力機器の空気による内部アーク代替試験法の提案へ道筋をつけた。なお、構築した解析モデルは、ガスの熱力学・輸送特性、解析モデルの形状や体積、電流値や初期充填ガス圧力値などの解析条件を変えることにより、高温ガスによる周囲への熱的影響が定量的に評価できると考えられる。

第 5 章では、第 2 章で得られた故障アーク発生時の圧力上昇・伝搬の様相、第 3 章および第 4 章で得られた体系的なデータなどを踏まえ、以下 2 つの状態を想定した SF₆ ガス絶縁電力機器を対象とした空気による内部アーク代替試験法について述べている。具体的には、放圧機構が具備されていない密閉状態の電力機器を対象とし、機器内部の最終圧力値が等価となるような空気における試験条件の設定方法を述べている。また、公衆安全性の観点から、機器の放圧機構が動作した場合や、万一機器が破損した開放状態の機器を対象とし、放圧口や破損口から噴出する高温ガスが周囲へ及ぼす熱的影響が等価となるような空気における試験条件の設定方法を述べている。これらの方法の概念は、SF₆ ガス絶縁電力機器の空気による内部アーク代替試験へ適用可能であると考えられる。

第 6 章では、本研究で得られた成果を纏めるとともに、今後の課題について整理している。電力機器内部で故障アークが発生した際に生じる圧力上昇・伝搬や当該機器から噴出した高温ガスによる周囲への熱的影響を明らかにした成果は、電力の安定供給および公衆安全性の確保の実現・継続に繋がることが期待される。また、提案した SF₆ ガス絶縁電力機器を対象とした空気による内部アーク代替試験法は国内外の大電力試験所での活用が期待される。