

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13787 号
------	---------------

氏 名 神足 将司

### 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)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	工学研究科	教授	早川 直樹
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	横水 康伸
委員	名古屋工業大学	工学研究科	教授	安井 晋示
委員	名古屋大学	工学研究科	准教授	小島 寛樹

## 論文審査の結果の要旨

神足将司君提出の論文「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」は、公衆安全性確保の観点から、万一、電力機器内部で故障アークが発生した際に生じる機器内部やその周囲の圧力上昇・伝搬を解析および実験の両面から明らかにし、当該機器内部から噴出した高温ガスが周囲へ及ぼす熱的影響を解析面から明らかにするとともに、これらの結果を踏まえて、SF<sub>6</sub>ガス絶縁電力機器の空気による内部アーク代替試験法を提案したものである。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、電力システムを取り巻く現状と課題として、油入電力機器やSF<sub>6</sub>ガス絶縁電力機器などの電力流通設備の故障アーク現象に関わる研究動向と課題を述べ、本研究の目的と内容を述べている。

第2章では、複数の油入電力機器が設置された、比較的大きな体積を持つ電気室を対象に数値流体力学CFDに基づく三次元圧力上昇解析を実施した。電気室内には通過風量の調整などを行うダンパ（開口部）を設けた。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アーク放電に曝され、着火・燃焼した場合を想定した。解析では、故障アーク箇所周囲の圧力上昇・伝搬の様相に及ぼす故障箇所や体積および開口部の位置の影響を明らかにした。また、故障アークが想定される箇所近傍に開口部を設けることで、その箇所から発生する圧力波による壁床面および機器床面の圧力上昇を緩和することができると考えられる。

また、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、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。ただし、本検討により、比較的大きな電気室における圧力上昇・伝搬の様相には、故障アーク箇所や体積、および開口部が影響を及ぼすことが明らかになった。そのため、本解析モデルを適用する際には、故障アーク箇所や体積を考慮した解析条件の設定、および、電気室の寸法、開口部の位置、電気室に設置された電力機器の寸法や数など、現場の状況に則した詳細な解析モデルの構築が重要と考えられる。

なお、故障アークが発生した際の電気室内部の圧力上昇・伝搬の様相に及ぼす電気室の寸法や体積、開口部の面積や位置などの影響を、様々な電気室へ適用すること、すなわち、本解析モデルの汎用性の検証や一般化については、今後の課題である。

第3章では、SF<sub>6</sub>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ことを目的とした。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想定し、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条件下におけるSF<sub>6</sub>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。さらに、実機器の初期充填ガス圧力値を対象とし、SF<sub>6</sub>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。さらに、SF<sub>6</sub>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・定量分析結果を考慮し、アーク放電が発生した際の容器内のエネルギー収支を検討した。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た。

なお、電流値や通電時間などをパラメータとした条件での体系的なデータのさらなる拡充、および、アークエネルギーの用途に及ぼす初期充填ガス圧力値の解明については今後の課題である。

第4章では、SF<sub>6</sub>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ことを目的とした。具体的には、機器の放圧機構が動作した場合や機器筐体が破損した場合の開放状態の電力機器を想定し、高温のSF<sub>6</sub>ガスが周囲へ及ぼす熱的影響を評価するため、温度範囲300 K~30,000 KのSF<sub>6</sub>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し、その妥当性を検証した。さらに、構築した解析モデルを使用し、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条件下での高温のSF<sub>6</sub>ガスおよび空気が周囲へ及ぼす熱的影響の差異が明らかとなり、同一条件下でSF<sub>6</sub>ガスを空気に代替すると過酷側の評価になることが示唆された。以上の成果により、同一条件下での高温のSF<sub>6</sub>ガスと空気の周囲への熱的影響の差異が明確となり、SF<sub>6</sub>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。さらに、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評価できると考えられる。

なお、本解析モデルに組み込んだ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 $k_p$ の密度依存性については、本研究の一連の解析により、故障アークが発生した部屋の形状や体積、および管路の形状や断面積に依存することが推測される。さらに、電極材質にも依存することが知られている。そのため、 $k_p$ の密度依存性に及ぼすこれらの影響を実験および解析から明らかにすることは、今後の課題である。

第5章では、空気およびSF<sub>6</sub>ガス中アーク放電発生時の圧力上昇、これらガスが周囲へ及ぼす熱的影響の結果に基づき、SF<sub>6</sub>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として、空気の試験条件の設定方法を提案した。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する場合、機器内部の最終圧力値が概ね等しくなるような試験方法の一つとして、SF<sub>6</sub>ガスまたは空気における電極材質毎の圧力上昇最大値とアークエネルギーの関係性を用いて、空気の初期充填ガス圧力値を設定することができる。また、公衆安全性確保の観点から、

## 論文審査の結果の要旨

機器の放圧機構や万一機器が破損した場合を想定した電力機器を対象とする場合、高温ガスが周囲への熱的影響を等しくなるような試験方法の一つとして、空気の電流値（アークパワー）または通電時間（アークエネルギー）を設定することができる。これらの設定方法の概念については、SF<sub>6</sub>ガス絶縁電力機器への適用は可能であると考えられる。

なお、本設定方法の汎用性については、対象とする電力機器の体積や形状、放圧機構の開口部などの形状をパラメータとして、実験および解析の両面から検証する必要がある、今後の課題である。

第6章では、本研究で得られた成果および今後の課題を総括している。

以上のように、本研究で得られた成果は、電力流通設備の故障に伴う公衆安全性の確保と電力の安定供給の実現・継続の観点から、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神足将司君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。