

## 論文の内容の要旨

論文題目 環境負荷に配慮した大容量 SF<sub>6</sub> ガス遮断器のコンパクト化に関する研究

氏 名 新 海 健

近年の時代背景から、環境負荷に配慮したコンパクトな高電圧大容量 SF<sub>6</sub> ガス遮断器が要求されている。SF<sub>6</sub> ガス遮断器のこれまでの高電圧・大容量化の歴史を支えてきたパuffa形消弧室技術は、構造が簡単で信頼性が高く遮断性能も優れている。ところが、機械的圧縮によりガス吹付けを生み出し電極間のアークを消弧するため、高い圧力の必要な高電圧大容量クラスではコンパクト化が難しいという課題があった。一方、本研究の対象である自力形消弧室技術は、アーク自身の熱エネルギーを用いてガス吹付けを生み出し、その吹付けによりアーク自身を消弧するため、コンパクト化に非常に有効であることが従来研究により確認されている。ところが、その原理ゆえにガス吹付けは電流の大きさや位相に強く依存する。また、消弧室の形状にも敏感に反応する場合があります。経験的な開発手法では安定した遮断性能を得ることは容易でなかった。このため、自力形消弧室の製品化は 145kV-40kA 定格程度にとどまり、更なる高電圧・大容量化は容易でないと考えられていた。

従来研究においては、ガス吹付けアークについては様々なアプローチで多くの有用な実験的研究が知られている。ところが、アークエネルギーによりガス吹付けを生み出すプロセス(自力効果による昇圧プロセスと呼ぶ)については、アーク部分を切り出した実験室モデルから、製品相当実器の流体现象を推定することは難しく、また、実器は流体諸量の測定にとって過酷な環境にあることから、実効的な研究はなされていない。一方、自力形消弧室の遮断現象の計算機解析は数多く発表されているが、十分な実験データが存在しないため、計算手法の妥当性を実証できず、計算精度向上指針についても必ずしも明確とは言えなかった。

そこで、本研究では、コンパクトで信頼性の高い大容量 SF<sub>6</sub> ガス遮断器の実現に必要な消弧室技術を確立

することを目的に、以下の点に着目して研究を実施した。

- (1)自力形消弧室の遮断現象、特に自力効果による昇圧プロセスを実験的に明らかにする。
- (2)自力形消弧室の遮断現象、特に自力効果による昇圧プロセスの計算機解析手法を確立する。
- (3)代表的な遮断責務に対する性能を理論的に検討し、計算機解析による性能評価手法を提案し、その妥当性を実証する。

また、上記 3 点の研究から得られた技術を活用した応用研究を行い、自力形消弧室の高電圧・大容量化(245kV50kA 及び 300kV-63kA 定格)を実現する。

本論文は以下のように 8 章から構成されている。

第 1 章「緒言」では、SF<sub>6</sub>ガス遮断器の概要、本研究の背景、SF<sub>6</sub>ガス遮断器の技術開発および研究の動向、本研究の主題である自力形消弧室技術の位置付けおよび技術課題、本研究の目的および本論文の構成について述べた。

第 2 章「自力形消弧室の遮断プロセスの実験的研究」では、自力形消弧室の遮断現象、特に自力効果による昇圧メカニズムについて明らかにした。アーク近傍から上流流路および蓄圧室の圧力分布の測定手法を開発した。アーク近傍の圧力測定については、実規模遮断器として初めて発表されたものである。アーク膨張により発生する圧力波が、流れに先駆けて上流に伝播し蓄圧室の初期昇圧に大きく影響していることが明らかになった。特に、上流流路の圧力波形は、圧力波の粗密波(膨張波と圧縮波)や各所での反射波が重畳し、多様な周波数の振動が観測され、ノズル形状のわずかな違いで挙動に差異が出るということが明らかになり、遮断性能との相関が示唆された。また、微小ギャップを用いて蓄圧室の温度測定も実施した。大電流遮断時でも温度上昇は 900°C程度であり、自力効果による昇圧において、熱ガスの流入は必ずしも支配的でなく圧力波の影響も大きいことを裏付ける結果が得られた。

第 3 章「自力形消弧室の遮断プロセスの数値計算」では、計算機解析手法について検討した。従来の熱ガス解析手法をベースに、高温(3 万 K まで)・高圧力(10MPa まで)下の SF<sub>6</sub>物性を用いた実在気体モデル、電極材料とノズル材料のアブレーションモデル、電極間の導電率分布からジュール加熱分布を求めるアークモデルを適用し、第 2 章で得られた測定結果との比較検討を行った。従来の研究では蓄圧室の圧力挙動のみ解析と測定の比較検討が行われていたが、本研究では、アーク近傍や上流流路全体の圧力挙動および蓄圧室の温度の比較検討を行い、これにより、測定と解析、双方の妥当性を示した。アークエネルギーによる昇圧プロセスおよびアークへの吹付けプロセス、両者におけるアークと流体现象の可視化とともに、詳細な遮断性能検討への適用が可能となった。

第 4 章「自力形消弧室の熱的再発弧の性能評価に関する研究」では、近距離線路故障遮断時の熱的再発弧(プラズマ再加熱=電流再通電)について、第 3 章の計算機解析と実験から検討した。電流零点近傍でノズルの吹付け淀み点がトリガーとなり冷却チャンネルが進展すること、吹付け淀み点の最低ガス温度と熱的再発弧に相関があり、電流零点で 2100K 程度まで低下すると熱的再発弧が発生しないことを確認した。吹付け淀み点のガス温度分布とともに、上流流路の圧力分布を総合的に評価する性能評価手法を提案した。この評価手法を用い、近距離線路故障遮断性能向上に適したノズル形状について明らかにした。自力形消弧室ではノズル形状がアークへの吹付けだけでなく昇圧にも影響を与えるため、わずかな形状差で性能差が出る場合のあることを述べた。

第5章「自力形消弧室の誘電的再発弧の性能評価に関する研究」では、端子短絡故障遮断時の誘電的再発弧(電流遮断後の熱ガス絶縁破壊)について理論的に検討した。自力形消弧室では、アークエネルギーを利用して吹付け圧力を得るために、極間もしくは極間から下流に排出される熱ガスの温度はパuffァ形消弧室より上昇する傾向にあり、熱ガス存在下の絶縁回復の問題はより重要である。熱ガスの絶縁特性・電界計算・第3章の熱ガス流の計算機解析を組み合わせた性能評価手法を提案した。実験により、この評価手法を実証し、端子短絡故障遮断性能向上のためのノズル形状について明らかにした。

第6章「自力形消弧室の進み小電流遮断の性能向上に関する研究」では、進み小電流遮断性能について、第3章の計算機解析と実験から、電極先端近傍の高電界部の圧力・密度変動を検討した。自力形消弧室では、従来のパuffァ形消弧室と異なり、進み小電流遮断時には高電界部の圧力上昇は0.1MPa程度であってほとんど期待できないことが明らかになった。このため、性能向上策として開極速度向上が重要であることを述べた。応用研究として、遮断器の大型化なしに開極速度を向上する技術として、デュアルモーション技術について検討した。デュアルモーション技術は、開極時に両側の電極を各々反対向きに駆動して相対速度を得、それぞれの絶対速度を抑制することで必要な操作力を低減する技術である。この方式で、両側電極の瞬時速度比を一定でなく時間の関数とし、両側電極へ運動エネルギーを動的に配分することで、より効果的な操作力の活用を可能にする溝カムを用いた新しい手法を開発した。

第7章「自力形消弧室の高電圧・大容量化に関する研究」では、第2章から第6章の研究成果を活用した応用研究として実器の自力形消弧室開発について述べた。はじめに、電流位相の影響(遮断幅)を考慮し消弧室全体の設計パラメータを最適化する計算手法について検討した。この手法を用いた上で、第2章から第6章の研究成果を活用して開発した2つの自力形消弧室について述べた。一つは、300kV-63kA-50Hz 定格であり、一点切りの自力消弧室として世界最大電流を達成した。もう一つは、245kV-50kA-50/60Hz 定格であり、世界の基幹系統の多くを占める定格のため、環境負荷と経済性を最大限考慮し、操作機構を含め徹底的なコンパクト化を志向した。これらの自力消弧室を適用したガス遮断器について環境負荷低減の評価を行った。300kV-63kA-50Hz 定格の場合、従来の SF<sub>6</sub> ガス遮断器に対し、使用 SF<sub>6</sub> ガス量は 70%、遮断器重量(金属および樹脂部材)は 50%、操作力は 20%まで低減した。

第8章「総括」では、本研究を総括し、研究意義と今後の課題について述べる。

以上