

CF₃I ガス絶縁特性の基礎特性

武田 敏信

現在、主要な電力機器において、SF₆ ガスによる電気絶縁が多用され、高い品質の電力輸送、変換が高い信頼性で達成されている。しかし、SF₆ ガスは地球温暖化係数が CO₂ の 23900 倍もあることから、1997 年 12 月に京都で開催された「第 3 回気候変更枠組み条約締約国際会議 (COP3)」において CO₂、CH₄、N₂O 等と共に温暖化ガスに指定され、将来その使用が大きく規制される可能性も示唆されている。

そのような情勢下で、SF₆ ガスを使用している電力機器（特にビルなどの地下に設置されるガス絶縁開閉装置やガス絶縁変圧器）からの漏洩防止については電気事業者や個々の設備保有企業の努力により確実に対策が進められている。その結果、経済産業省産業構造審議会化学・バイオ部会地球温暖化防止対策小委員会の報告によると、1995 年の基準年では 1100 万 t (CO₂ 換算値) に対して、2005 年には 70 万 t (CO₂ 換算値) 大幅な温室効果ガスの削減を実施し、大きな成果をあげている。

しかしながら、海外に目を転じると、国家的な産業基盤整備を推進する中国、インドなどにおいて急速なインフラ整備が進展中であり、SF₆ ガスを用いる電力機器についても急速に普及が進む状況にある。このような地域においても、SF₆ ガス漏洩防止の徹底が不可欠であるが、基本となる回収・除害設備の普及が不十分という課題が顕在化しつつある。今後、世界的に電力システムの拡充が進むことから、機器からの絶縁ガス漏洩防止や点検時のガス回収・除害作業の軽減は不可欠であり、更に進んで、可能であれば SF₆ ガスに代わる温暖化係数の小さい絶縁性ガスの投入が長期的観点から望ましい。

こうした背景から SF₆ ガスにかわる代替ガスの模索が行われてきたが、いまだ決定的なものは提案されておらず、SF₆ ガスと窒素・二酸化炭素などの混合ガスが現実的な案と考えられている。中でも SF₆-N₂ 混合ガスの火花電圧は混合比に対する相乗効果を持つことが知られており、工学的に重要であるばかりではなく、そのような混合ガスの放電進展メカニズムを追究することは物理的見地からも非常に興味深い。

このような背景から SF₆ 代替ガスを見つけ出す必要があり、本研究へと繋がっている。過去 30 年に亘り、筆者らを含めて新しいガスの探索が行われてきたが、絶縁性能、消弧性能、環境保全性、毒性の有無、不可燃性、科学的安定性、液化特性、生産コストなどの面で総合的に SF₆ ガスに勝るガスは発見されておらず、今後開発するにしても非常に長い年月がかかることは避けられないと考えられてきた。しかし、近年申請者らを中心に、ハロン消火剤（オゾン層破壊物質として法的規制）の代替物質の一つである CF₃I ガス（ヨウ化トリフルオロメタン）に着目した。

CF₃I ガスは地球温暖化係数が 1 と非常に低く、ある一定条件下であるが CF₃I ガスの絶

縁性能は SF6 ガスより優れていることが示され、CF3I ガスを電気絶縁媒体に適用することが期待できる状況となった。CF3I ガスを実用機器に応用するに当たり解明しなければならない特性が多数存在しており、地球環境が問われる新世紀において、今まさに更なる研究が求められている。

本論文では、地球温暖化への寄与が大きい SF6 ガスの代替ガスである CF3I ガスを電力絶縁機器への適用可能性を検討した。測定の際には実用時の状況を想定し、以下の様な項目について測定を行った。

- ・ 通状の仕様状態である準平等電界下放電特性
- ・ 弱点となりうる不平等電界下放電特性、沿面放電特性、ガス混合による液化防止
- ・ アクシデント発生時である副生成物発生時の放電特性

以下、章ごとに内容を箇条書きでまとめる。

1. CF3I ガスの $V-t$ 特性

- ・ ギャップ長 10mm、100mm 半球—平板電極という準平等電界においては CF3I ガス中の最低スパークオーバー電圧は 112kV と高い値を示している。
- ・ CF3I ガスは電界に敏感なガスであり、針—平板電極のように電界不平等性が強い場合は絶縁性能の低下が著しい。
- ・ 負極性急峻方形波印加時は正極性急峻方形波の場合と異なり、3 種類の不平等電界での $V-t$ 特性を比較すると針電極の $V-t$ 特性がもっとも高く、また、針電極の正負極性のスパークオーバー電圧を比較すると長時間領域では、負極性のほうが正極性の約 2 倍のスパークオーバー電圧であることが分かった。

2. CF3I ガスと SF6 ガスの絶縁性能の比較

- ・ 電界不平等性の指標である電界利用率を用いて CF3I ガスと SF6 ガスの電界に対する絶縁性能を比較を行った。
- ・ 準平等電界においては CF3I ガスは SF6 ガスより高い絶縁性能をもっていることが分かった。
- ・ 一方で、電界不平等性が強い針—平板電極ではその関係は逆転し CF3I ガスは SF6 ガスより低い絶縁性能になってしまう。
- ・ CF3I ガスと SF6 ガスの実行電離係数と電界の関係が交差していることが原因の一つであると考えられる。

3. 沿面放電特性

- ・ 沿面放電においても CF3I ガスは SF6 ガスと同等以上の高い絶縁性能を持っていることが分かった。
- ・ しかし、背後電極がない場合では放電によって発生する副生成物である固体ヨウ素が誘

電体スペーサ表面に付着し絶縁性能低下の原因となっている。

- ・ 100 回以上放電した後の沿面フラッシュオーバ電圧は、上昇法によって測定された誘電体スペーサ表面が清浄な状態での沿面フラッシュオーバ電圧の半分ほどの値になっている。
- ・ 背後電極ありの場合は背後電極なしの場合と異なり、誘電体スペーサ表面が清浄な状態でも絶縁性能は CO₂ と同等である。
- ・ 背後電極ありの場合は放電によって誘電体スペーサ表面に固体ヨウ素が付着しても絶縁性能が余り低下しない。
- ・ 高速度カメラを用いて沿面放電の様子の撮影を行い、背後電極の有無や、固体ヨウ素付着による影響で放電の形状が異なることが観測された。

4. CF₃I 混合ガスの放電特性

- ・ CF₃I 混合ガスとして主として CF₃I/CO₂ 混合ガスの放電特性の測定を行い、比較するために一部 CF₃I/N₂ 混合ガスの測定も行った。
- ・ CF₃I/CO₂ 混合ガスは測定を行った全ての条件でシナジズム特性を示した。
- ・ CF₃I 混合率が 20~40%で CF₃I/CO₂ 混合ガスを用いることによって、背後電極なしの場合では高い絶縁性能を保ち、背後電極ありの場合では低い絶縁性能を補うと共に、CF₃I の液化を防ぐことが可能である。

5. 電界計算による考察

- ・ 沿面放電においては背後電極の有無が最大電界に大きく作用し、電界に敏感な CF₃I ガスの沿面フラッシュオーバ電圧に大きな影響を与える。
- ・ 背後電極ありの場合では沿面距離が一定以上になると背後電極の電界への影響が支配的になり、最大電界が沿面距離に左右されなくなる。
- ・ 高電圧印加電極付近に固体ヨウ素が付着することによって絶縁性能が低下することは、固体ヨウ素の導電性などではなく、電界への影響が大きいと考えられる。面積則による $V-t$ 特性の定量的評価
- ・ 面積パラメータ F を用いて $V-t$ 特性の定量的評価を行った。
- ・ CF₃I ガス、SF₆ ガス、CF₃I/CO₂ 混合ガスの面積パラメータ F は電圧によって 2 種類のパターンがあり、電圧が低い場合は電圧の 2 次関数的に変化し、電圧が高い場合は電圧の 1 次関数的に変化する。

6. 放電による副生成物

- ・ 放電による副生成ガスとして、C₂F₆、C₂F₄、CHF₃、C₃F₈、C₃F₆、C₂F₅I の 6 種類が検出された。また、固体ヨウ素が副生成物として生成され、電極やスペーサ表面に付着していた。
- ・ 気体放電と沿面放電いずれにおいても、副生成ガスの生成量は放電回数と比例して増加

し、また充電エネルギーではなく印加電圧に比例して増加していた。

- ・ 準平等電界ギャップの気体放電では、放電 1300 回後のガスや電極表面が劣化した場合は、ガスや電極表面が清浄な場合に比べてスパークオーバ電圧の最低値が約 11%低下する。
- ・ 沿面放電においては、スペーサ表面が清浄な場合は CF₃I ガスは SF₆ ガスと同等の絶縁性能を持つが、1 回でも沿面放電が起きてしまうとスペーサ表面に固体ヨウ素が付着し沿面フラッシュオーバ電圧が半減する。