

報告番号 ^{*} 甲 第 2389 号

主論文の要旨

題名 ガス吹付けによる大電流の
アーク遮断に関する基礎研究

氏名 横水康伸

主論文の要旨

報告番号 ※甲第 号 氏名 横水康伸

電気エネルギーは各種の用途に適合する優れたエネルギー形態であるため、その需要は増大し続けているし、今後の情報化社会への進展に伴い、電力輸送の高信頼性が要求されている。しかしながら、大電力の需要は大都市に集中する一方で、大容量の電源はそこから遠方に設置され、両者は分局化する傾向にある。このため、大電力を遠距離にわたって、しかも高信頼度に伝送しなければならない。これに対処するために、電力系統の連系が強化されているけれども、その反面、系統の短絡容量は増大し、電力用遮断器の大容量化そして高信頼性が切望されている。

電力用遮断器は、近年、空気あるいはSF₆ガスの吹付け型が多くなってきている。この遮断器は消弧ガスをノズルを通してアークの軸方向に吹き付けており、遮断すべき交流電流の零点でアークを消弧している。このため、電流零点付近におけるアークの物理的状态を詳細に検討することは、遮断現象を解明する上で重要であると考えられる。ここで実験的研究の発表例をみると、電流零点付近に限定すれば、アークコンダクタンスや残留電流などに関するものが多く、アーク温度やアーク構成粒子の密度などの微視的な物理量の実測例は少ない。これらの物理量のうち、電子密度は、アーク遮断過程の二つの領域である熱的再点弧領域と火花再点弧領域とにおいて、それぞれ極間の導電性と絶縁性とに反映し、最終的には遮断の成否に深く関係してくると考えられる。また、電子密度は、粒子間の衝突・電離のような放電の素過程から二つの再点弧領域を物理的に解明できる可能性を秘めている。そこで、本論文では、まずはじめに、空気吹付け交流アークにおいて、特に電流零点近傍の電子密度をレーザー散乱法によって直接測定している。ここでは空気吹付け流量と電極材料とをパラメータにとって、それらの違いによる電子密度の時間的減衰過程を明らかにしている。

主論文の要旨

報告番号 ※甲第 号 氏名 横水康伸

さらに、アーク遮断現象の解明へのアプローチの一つとして、空気吹付けアークの電子密度を測定すると同時に、極めて多数回の遮断実験における遮断成否も記録し、アーク遮断成功率を算定している。この実験結果からアーク遮断成功率の高低は電流零点における電子密度の高低とは逆の相関関係にあることを明らかにし、アーク遮断能力を電流零点の電子密度から相対的に評価できることを指摘している。

次に、2圧式の1方向吹付け型のSF₆ガスモデル遮断器を製作し、そこで点弧するアークの電子密度を、スペクトル線の波長方向の幅から算定しようとして、高速のSF₆ガス流中のアークを直角2方向から同時に分光学的に観測した。2方向のスペクトル放射強度観測値は、ほとんどの場合異なった分布形状をなし、しかも非対称であった。分光学的手法を介してアーク内部の電子密度などを算定するにあたっては、放射強度観測値からアーク断面の放射強度分布を計算によって求めなければならない。ところが、非対称な場合の計算手法は確立されておらず、これまで多数例の観測データを平均化して線対称な分布を想定して計算されていた。ここでは、この非対称性に取り組み、実験で測光された非対称な放射強度観測値から、アーク断面における放射強度分布を近似的に求める計算手法を考案している。

以下、各章の概要は次のとおりである。

第1章は緒論であり、電力用遮断器の高性能化の必要性、電子密度の測定の重要性など、本論文の目的とその内容の概略を述べている。

第2章は、実験室規模の小型の空気吹付けアーク遮断装置において、ジャイアントパルス・ルビーレーザー光をアーク中心に集束照射し、電子によるトムソン散乱光をスペクトル分析することによって、アーク中の電子密度を直接測定してい

主論文の要旨

報告番号 ※甲第 号 氏名 横水康伸

る。しかも、その測定は交流電流が遮断される電流零点の直前である約90~0 μ sの期間で行われており、その期間の電子密度の時間的減衰状況を明らかにしている。このとき、電極材料を銅もしくはグラファイトのどちらかで、空気吹付け流量を100~250 ℓ /minの範囲で変化させ、それらの変化によるアーク中心の電子密度の大きさの差異などを併せて明確にしている。その結果として、電極材料については、同一の吹付け流量において、銅電極の場合の電子密度は特に電流零点直前の30~0 μ sの期間では、グラファイト電極の場合の約2倍に増大することを明らかにしている。吹付け流量については、同一の電極材料において、電流零点前の約90~20 μ sでは吹付け流量が大きいほどアーク中心の電子密度は高いが、電流零点前の約20~0 μ sにおいては、電子密度の高低関係が逆転し、吹付け流量が大きいほど逆に電子密度は低くなることを明らかにしている。たとえば、吹付け流量250 ℓ /minの場合における電流零点の電子密度は、吹付け流量100 ℓ /minの場合に比べて約60%になる。本論文の第2章では、電流零点近傍の電子密度に関して、体系的な測定を実施しており、アーク遮断現象の解明のための重要な基礎データを提示している。

第3章は、第2章の空気吹付けアーク遮断装置においてアーク中心の電子密度をレーザ散乱法によって直接測定しつつ、空気吹付け流量と電極材料とを変化させることで装置の遮断能力を変化させながら、一つの実験条件あたり約100回の遮断実験を行ってアーク遮断成功率を導出している。このような多数回の遮断実験は実規模の遮断器においては実施し難いものである。この結果として、電流零点の電子密度が高くなると、遮断成功率はそれに対応して低下することを明らかにしている。しかも、電流零点付近における電流変化率 di/dt と過渡回復電圧上昇率 dv/dt とが一定の条件下においては、横軸に電流零点の電子密度を対数目盛

主論文の要旨

報告番号 ※甲第 号 氏名 横水康伸

りで、縦軸に遮断成功率を正規分布目盛りでプロットすると、両者の関係は直線で表わされることを実験的に示している。

さらに、電流零点の電子密度と遮断成功率とについての上述の直線関係が他のアーク遮断装置で成り立つことを確かめるために、まずはじめに、空気吹付け遮断装置のノズル形状をオリフィス型に近い形のものに変更し、レーザ散乱法による電子密度測定と遮断実験とを実施している。また、PTFE細隙平板状消弧室と空気吹付け平板状ノズル消弧室とにおいてもアーク遮断実験が行われており、筆者はそれらの消弧室における実験データを電子密度と遮断成功率とについて検討している。前者の消弧室は、PTFE板で囲まれた、厚さ数ミリメートル、幅20mmおよび高さ50mmの空間においてアークを消弧しており、消弧能力は消弧室の厚さが狭いほど高くなる。後者の消弧室は、空気吹付けノズルの断面形状を平板状に形成し、ここに空気を吹き付ける方式で、消弧能力は吹付け流量を大きくするほど、そして消弧室の厚さを狭くするほど高くなる。両消弧室内の電子密度は、マイクロ波70GHzを消弧室の一部に照射し、アークプラズマを透過してくる量から 10^{19} ~ 10^{20}m^{-3} のオーダーの範囲で測定されている。これらすべてのアーク装置においても電流零点の電子密度と遮断成功率との関係は、空気吹付けアーク遮断装置の場合と同様に成り立つことを示している。これらの3種類のアーク装置からみて、アーク遮断能力は電子密度に強く依存しており、電子密度に着目すれば遮断限界をどの程度越えているかを相対的に評価できることを指摘している。このようなアーク遮断成功率の観点に立った検討は、フラッシュオーバ現象における「50%フラッシュオーバ電圧」の設定と類似しており、遮断現象の統計的性格に立脚した取り扱いに一步近づくものである。

さらに、通常の場合は過渡回復電圧上昇率 dv/dt と電流零点付近の電流変化率

主論文の要旨

報告番号 ※甲第 号 氏名 横水康伸

di/dt とから表示される遮断能力曲線を、電流零点の電子密度と遮断成功率との関係から導出する方法を考案している。空気吹付けアーク遮断装置の場合を例にとって、遮断成功率50%の $dv/dt - di/dt$ 予測曲線を導出し、検証実験を行い、予測値と実験値とがよく一致していることを示している。

第4章は、ガス吹付けアークにおいて2方向から測光された非対称な放射強度観測値から、アーク断面の放射強度分布を近似的に求解する計算手法について考案している。本数値計算手法においては、求めるべきアーク断面の放射強度は、対称を表わす楕円分布と、非対称を表わす多項式との積の形で表わされると想定することから出発し、多項式の係数を繰り返し計算することによって近似解を得ている。実際に、実験データを入力し、アーク断面の非対称な放射強度分布を求解しており、例えばアーク断面の放射強度分布において二つのピークがあるような複雑な分布の場合も十分に再生することができている。しかし、非対称な分布のものを2方向から観測するだけでは、観測方向数が本質的に不足で、近似解であることは免れない。例えば、試験関数として、アーク断面の放射強度分布を楕円分布として、その長軸を二つの観測方向の x 、 y 軸に対して、45度の角度をなすように設定すると、2方向から観測される分布はともに対称で、しかも等しい波形になる。この場合、本計算手法は、アーク断面の放射強度分布を軸対称であると出力し、正しく再生できないが、試験関数に対する再生された分布の平均誤差は離心率0.5以下の楕円の場合10%程度以下であることを計算で求めている。実際にアーク断面を楕円で近似してみても離心率の小さいものが多いことから、本計算手法はガス吹付けアークに対しては十分に適用できることを確かめている。

最後の第5章は、本論文を総括し、本研究で得られた主要な知見をまとめ、アーク遮断現象を解明するための今後の課題を述べている。