

報告番号 \*乙第 3612号

# 主論文の要旨

題名

軸方向磁界形成電極を備えた  
大容量真空遮断器の開発研究

氏名 金子 英治

# 主論文の要旨

1 / 5

報告番号	※ 乙第	号	氏名	金子 英治
<p>真空遮断器は遮断器の歴史のなかでは比較的古くからその原理が知られていたにもかかわらず、実用に供される製品が現れたのは近年に至ってからである。これは真空遮断器を工業製品として実現するために製造技術を中心とする周辺技術の確立に時間が必要であったためと思われる。これら周辺技術が整備されるに従い、さらに真空中のアーカ現象についても研究が進み、さまざまな真空遮断器用の電極構造が考案されてきた。中でもアーカコラムに平行に磁界を印加すると真空遮断器の遮断性能を飛躍的に増大させ得ることが示された。この縦磁界を発生させるような電極構造（縦磁界電極）を考案し、実用的な大容量真空遮断器として工業的実用に供するためには、いくつかの開発研究が必要であった。本論文では縦磁界電極をもった真空遮断器に関して行った開発研究についてまとめ、さらにこの研究の過程において行った開発試作について述べた。</p> <p>本論文は全7章で構成されており、各章の内容は以下のようになっている。</p> <p>第1章は緒論であり、真空遮断器の変遷、及び真空遮断器の大容量化に関する問題点と本論文の目的、内容の概略を述べた。</p> <p>第2章では真空アーカの基礎特性について述べた。すなわち、真空アーカの陽光柱に平行な磁界を印加するとアーカは電極間空間に分散点弧するようになる。このような特性を持った遮断器用真空バルブにおいては電極の損傷が少なく遮断性能の向上が見込まれるとともに寿命の長いことが期待される。そこで、本章ではこれを実際の真空遮断器に適用するために、最適な磁界強度の選定、材料との相関、電極直径、ギャップ長について実験により明らかにした。</p>				

# 主論文の要旨

2 / 5

報告番号	※乙第	号	氏名	金子 英治
------	-----	---	----	-------

まず、真空デマンダブルチェンバーによってこのような条件についてアーク観測実験を行った。これにより真空アークに縦磁界を印加するとアーク電圧は縦磁界強度に対して極小値を持つこと、この極小値となる磁界の強度はアーク電流値にほぼ比例すること、磁界強度が強いとアークは大電流領域でも分散形となり電極の損傷はあまりないことを示した。さらに、この電極の損傷についてアーク電圧の振動性成分と電極溶融との関係について実験を行い、これらの結果を総合することにより、磁束密度の最適な条件、及びアーク電流に対する限界の電極径、ギャップ長の条件を明確にした。また、長ギャップにおいても縦磁界は同様に有効に作用し、アークを安定に点弧させる効果があり、高電圧真空遮断器への適用の可能性についても示すことができた。

第3章では自分自身で縦磁界を発生できる電極、いわゆる縦磁界電極と、それによる遮断性能の向上について述べた。電流遮断時に発生する真空アークに縦磁界を印加するために様々な電極が考案されたが、そのなかでもいわゆる縦磁界電極は遮断電流自身を電極の背後に設けたコイル電極に導いて磁界を発生するという実用的な電極構造である。しかもここで問題とするような数十kArmsの大電流を遮断する場合、電極直径は100mmを上回る大型のものとなる。そこで、この電極を真空遮断器に適用するための機械的な問題、磁界発生に関する問題などいくつかの技術的問題について検討した。

真空遮断器では通電時の発熱を減らすためと、真空容器中の真空度を長期にわたり保つために、電極を構成する主な材料は純銅とされているが、機械的な強度

# 主論文の要旨

3 / 5

報告番号	※乙第	号	氏名	金子 英治
------	-----	---	----	-------

という観点からは著しく劣っている。特に縦磁界電極ではアーク電極背面にコイル導体が配置されており、さらにアーク電極にはスリットが入れられているために機械的な補強が不可欠であった。この補強として抵抗率が純銅の40倍ほどのステンレス鋼を形状に注意を払って要所に用いることにより、機械的に十分な強度を持った実用的な電極が実現できた。この電極で多数回開閉動作後においても機械的変形の生じないことが確認できた。

アーク電極に生じるうず電流は縦磁界の強度を弱めるなどの影響を及ぼすため、極力その発生を抑える必要がある。しかしながら、電極の主構成材料が純銅であるため、完全にうず電流の発生をなくするのは困難であると思われる。そこで電極の厚み、スリットの高さ、本数などを適切に選択することにより、実用上問題のない縦磁界を発生する電極が設計できることを示した。つづいて、そのような電極に発生させたアークを観測し、電極間にアークがよく広がり、局所的なアークの集中が見られないことを示すことができた。この構造の縦磁界電極を用いて60mmにも及ぶ長ギャップという条件でも電極間の真空アークが安定していることを実証できた。このように長ギャップにおいても縦磁界電極が使用できることは、縦磁界電極が高電圧真空遮断器に適用できることを意味しており、この結果を基に84kV真空遮断器の製品化を行い十分な製品性能を示すことができた。またこの製品試作器を用い限界遮断試験を実施した結果、84kV-50kArmsの遮断も可能であることを示すことが出来た。

# 主論文の要旨

4 / 5

報告番号	※乙第	号	氏名	金子 英治
------	-----	---	----	-------

第4章では真空遮断器を用いた直流大電流遮断の特性について詳細に検討を加えた。核融合実験装置では100kAクラスの直流大電流を多数回連続的に遮断する必要がある。縦磁界電極を用いた真空遮断器は電流遮断による電極の損傷が少なく、このような要求に応え得る唯一の遮断器と思われる。

まず、遮断器に直列に空心リアクトルを用いて遮断試験を実施した結果、電流零点直前の電流減少率は150A/μs程度の条件まで遮断可能で、しかもこれはアーク時間にほとんど影響されないことが示された。遮断器に直列に可飽和リアクトルを設けて、電流零点近傍の電流変化率を減少させると、様相が異なり、電流零点近傍の電流変化率は小さく、しかも全遮断時間が短くできる。したがって、遮断対象とした直流電流の大きさを転流期間の長さで除した見かけの電流変化率で比較すれば、空心リアクトルの場合の約180A/μsより大きくすることができ、最大400A/μsもの条件で遮断が可能であることが示された。このような条件で遮断が実現できるとすれば遮断器システムを小形にまとめることが可能であり経済的な遮断システム設計ができる。縦磁界電極を用いた真空遮断器により経済的でしかも長寿命の直流遮断システムが可能となった。

大電流を遮断した直後では他のガス遮断器と同様に真空遮断器にも残留電流が発生することを見いだした。第5章ではこのような観点で、まず真空遮断器で大電流を遮断した後の残留電流の実測を行い、つづいて簡単なモデルを用いて残留電流の解析を行った。

実験結果として、遮断電流値が大きいほど残留電流のピーク値はわずかながら

# 主論文の要旨

5 / 5

報告番号	※乙第	号	氏名	金子 英治
<p>大きくなる傾向がみられ、ある遮断電流値以上で急に残留電流値が大きくなるという境界の電流値の存在することが初めて示された。次いで、残留電流と電極の構造、電極材料との相互依存性を示すことができた。また、電流変化率や回復電圧上昇率の増加に伴い残留電流や残留電流の総電荷量が異なり、シールド電流の実測からこれらは陰極から放出されるイオンの量と関係づけられるものと推定した。これらの結果は真空遮断器の設計や材料選択に有効である。</p> <p>第6章では遮断器の並列接続について検討した。1点当りの遮断能力が限られている場合、遮断器を並列に接続することにより大きな遮断能力の遮断器を実現できる可能性がある。核融合実験装置に用いられる大電流直流遮断器ではこの技術が不可欠である。</p> <p>まず、小規模回路により並列遮断試験を行い、真空バルブのアーク電圧、電流特性がわずかながらも正特性を持っていることから真空遮断器は並列運転を行い得ることを示し、基本的に真空遮断器は並列遮断が可能であることを実証した。続いてこの小規模試験のシミュレーションを行い並列遮断における電流の分流状況を解析する計算機手法を確立した。この手法を大規模システムにまで拡張適用し大規模システムでの並列遮断の問題について検討を加え、真空バルブに100 <math>\mu</math>H 程度の直列インダクタンスを用いればかなりな不揃い開極があっても電流の均衡が保たれることがわかった。</p> <p>第7章は総括として本論文のまとめと今後の課題を述べた。</p>				