

氏名	伊 佐 弘 い さ ひろむ
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 1242 号
学位授与の日付	昭 和 55 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	雷インパルス電圧による大気圧空気の絶縁破壊現象の観察

論文調査委員 (主 査)  
教授 林 宗 明 教授 上之園親佐 教授 板谷良平

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は半球棒対平板（棒先端曲率半径  $0.5\sim 7.5\text{ mm}$ ，平板電極は厚さ  $30\text{ mm}$ ，半径  $12.5\text{ cm}$  の円板，何れも黄銅製）の不平等電界における正負両極性の雷インパルス電圧印加による大気圧空気の絶縁破壊時におけるストリーマの発生，リーダ生成および過渡アークに至る一連の現象を観察すると共に，これに関する理論的考察を行なった結果をまとめたもので，6章から成る。

第1章は序論で，大気圧空気の絶縁破壊の機構および特性解明の必要性を述べ，従来の理論についての紹介を行なっている。

第2章では，本文で主として用いる半球棒対平板ギャップの静電界を電荷重畳法によって計算し，これと電子付着を考慮した実効衝突電離係数を用いて不平等電界に拡張した Raether の火花条件式を満たす最低電圧を計算で求め，実験により求めた放電開始電圧と比較している。その結果，平等電界に近く，コロナが発生しない領域では，フラッシュオーバー電圧が計算値と一致し，不平等性の強い領域ではコロナ開始電圧が計算値と一致することを見出し，これをもとに，放電ギャップを静電界支配領域と空間電荷支配領域に分類している。

第3章では，不平等電界下の絶縁破壊前駆現象のうち，1次ストリーマの発生後  $0.3\ \mu\text{s}$  程度の時間帯で1次・2次ストリーマの伸展（速度は1次が  $10^7\sim 10^8\text{ cm/s}$ ）およびそのチャンネル内の電界強度（1次が正極性  $4\sim 5\text{ kV/cm}$ ，負極性  $8\sim 10\text{ kV/cm}$ ，2次が  $20\text{ kV/cm}$  程度），荷電粒子密度（1次が正極性で  $10^{12}\text{ 個/cm}^3$ ，2次が  $10^{13}\text{ 個/cm}^3$  程度），発光強度などの物理的諸特性を，印加電圧変化，さい断時間変化に対し，写真フィルムの増感現象，光電子増倍管などを用いる測定法によって求め，さらに短ギャップ領域（ここではギャップ長  $3\text{ cm}$ ）におけるフラッシュオーバー過程でフィラメントグロー状放電の段階が存在することと，印加電圧極性によるその形態の差異などについて明らかにしている。

第4章では不平等電界下の絶縁破壊前駆現象のうち，リーダの伸展機構およびその物理的特性について調査し，1次および2次ストリーマにつづく遅発ストリーマに着目し，その電流波形が特定のパターンをもつときリーダチャンネルが形成されることおよびリーダの伸展は陰極の影響をあまり受けず，いわゆる

自己伸展性を有することを明らかにしている。さらにストリーマからリーダを経てフラッシュオーバに至る間にギャップ中に生じる空間電荷量の変化を球プローブによって測定し、ストリーマ段階で 5~200 nC、リーダ段階で 260 nC など、各現象段階における電荷量の変化を明らかにし、さらに、フラッシュオーバ成立後にもギャップ中になお暫く空間電荷が残留する (200 nC 程度) ことを見出している。

第 5 章では、破壊の最終段階すなわちリーダによるギャップの橋絡以降に生じる過渡アークのもつ種々の特性を測定し、フラッシュオーバ後のアーク電圧・電流・チャンネルへの注入エネルギー等の時間的変化および陰極電圧降下等を測定し、また過渡アークチャンネルが印加電圧の極性にかかわらず三層の部分からなることを減光フィルターを通して得られた静止写真により明らかにした。また、特にマイクロフォトメータによる写真フィルム上のアークチャンネルの輝度分布測定の結果からチャンネルの半径を定義、決定する方法を提案し、これによってアーク電流の変化に対するアークチャンネルの半径および電流密度の変化を求めている。またこの手法と印加電圧さい断とを組合せてアークチャンネルの成長過程、その電位傾度、電流密度等の時間的変化を調べ、フラッシュオーバ直後のアークチャンネルの拡がり速度が超音速となるための臨界電流値を求め、さらにアーク電流をパラメータとして、チャンネルの導電率の時間的変化を求め、その結果をもとにアークの温度の時間的変化とその最高温度 ( $6\sim 22\times 10^3\text{K}$ ) を求めるなど、過渡アークの物理的性質を明らかにしている。

最後に第 6 章では、本研究で得られた成果をまとめている。

### 論文審査の結果の要旨

気中放電は種々の素過程から成り、更にこれらの素過程が多くのパラメータの下に絡み合って生じるため、極めて複雑な現象となっている。このため、放電に関する研究は従来より、理論的および実験的研究が並行して進められ、平行平板電極を対象とする限り実用的にはほぼ十分な精度に達しているが、これを一般的な不平等電界の絶縁破壊の問題に適用するのは困難である。本論文は棒対平板電極のような、不平等電界を形成する電極系に雷インパルス電圧を印加した際の大気圧空気の絶縁破壊時のフラッシュオーバ電圧またはコロナ開始電圧をストリーマ理論によって求めると共に、絶縁破壊時におけるストリーマ発生、リーダ生成および過渡アークに至る一連の現象を観察し、その結果を考察したものであって、得られた成果のうち主なものをあげれば次のようである。

(1) Raether のストリーマ理論を不平等電界に拡張し、半球棒対平板ギャップにおける放電開始電圧を求めて実測値と比較し、平等電界に近い場合はフラッシュオーバ電圧が計算値と一致し、不平等性の強い電界の場合はコロナ開始電圧が計算値と一致することを見出し、これをもとに放電ギャップを静電界支配領域と空間電荷支配領域に分類した。

(2) 印加電圧のさい断、写真フィルムの増感現象、光電子増倍管による発光強度測定、1次ストリーマの長さ測定、電流波形観測などにより、1次ストリーマ発生電圧対長さ特性およびこれに伴う放電電荷量を調べ、これらをもとに、そのチャンネル中の電界強度、電子数密度およびチャンネル伸展中に注入されるエネルギー等を正負両極性に対して求め、これより負極性ストリーマの伸展に要するエネルギーは正極性の場合に較べ 6~7 倍も大きいことを明らかにし、また同様にして 2次ストリーマチャンネル中の電界

強度と電子数密度を測定した。さらに2次ストリーマが、ギャップを橋絡するような、いわゆる短ギャップ領域におけるフラッシュオーバー過程は、従来の説と異なり、2次ストリーマとアークとの中間にフィラメント状グローの段階が存在すること、および各種の条件下におけるその形状等の変化の様相を明らかにした。

(3) 1次ストリーマに続いて発生する遅発ストリーマの存在を明らかにし、その電流波形が特定のパターンを画くときストリーマがリーダに変換すること、およびリーダ伸展に際しては陰極は特に重要な役割を果たしておらず、リーダはいわゆる自己伸展性を有することを明らかにした。また、1次・2次ストリーマ、リーダの伸展段階においては、ギャップ全体の光波形と電流波形とが相似となる理由を考察し、これより電流波形の特徴からリーダの発生・伸展の様相を3種類に分類した。

(4) 火花せん絡特性を左右する要因である空間電荷の時間的変化を球プローブを用いることによって、ストリーマ・リーダ・フラッシュオーバーの各段階の現象と関連づけて測定し、空間電荷量の変化のパターンを明らかにした。

(5) フラッシュオーバー以後の過渡アークの電圧・電流・抵抗の時間的変化および陰極降下電圧等を測定すると共に、フィルム上のアークの像をマイクロフォトメータで分析することによってそのチャンネルがコア、中間領域、外層のプラズマから成る三層構造であること、またアークチャンネルの成長過程、その電位傾度、電流密度の時間的変化、膨張速度、導電率、温度等を測定し、これを定常アークと比較することにより、過渡アークの特徴を明らかにした。

以上要するに本論文は、雷インパルス印加時の、不平等電界下における大気圧空気中のストリーマ、リーダの発生と伸展およびフラッシュオーバー後の過渡アークの生成を詳細に観察し、分類し、これに物理的考察を加え、火花放電成立時の現象に関する新たな多くの知見を得たものであって、学術上、實際上寄与するところが少ない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。