

(論文題目) 部分放電による放射電磁波の特徴とその要因解明ならびに  
新しい絶縁劣化診断手法の開発

(申請者) 牟田神東 達也

## 1. 論文内容の要旨

電力の安定供給のため、変電機器の高電圧化・大容量化・小型化などの技術開発が進められてきており、機器性能や長期にわたる信頼性の向上は重要である。特に、電力設備の老朽化による絶縁性能の低下や絶縁材料中のボイド・異物の存在などに起因して発生する部分放電は、事故を引き起こし、社会に大規模な支障をきたす。そのため、部分放電の早期検出と絶縁劣化診断技術は重要である。筆者は部分放電発生時に放射される電磁波の周波数成分に特徴を見出している。本論文では、この特徴的な周波数の起源を解明するとともに、それをを用いた部分放電の検出と絶縁劣化診断手法に関する研究成果をまとめたものである。

第1章では序論であり、現在の高度情報化社会にとって電力の安定供給は必要不可欠であり、その実現には絶縁劣化診断が重要であり、本研究の位置付けをまとめている。

第2章では部分放電現象について説明するとともに、部分放電の検出手法を整理するとともに、絶縁劣化診断として、部分放電検出の有効性を述べている。また筆者らは以前より、部分放電に伴い放射される電磁波に注目し、絶縁媒体の種類によって、放射電磁波の周波数成分に特徴が見られることを実験的に見出している。すなわち、空气中、絶縁油中およびポキシ樹脂や架橋ポリエチレンなどの固体絶縁材料の内部での部分放電によって、放射電磁波の周波数成分が異なり、絶縁油や固体絶縁体では空気より高い周波数成分が含まれる。これらについて実測結果をもとに説明を行い、この周波数成分の相違に着目した部分放電の検出および絶縁劣化診断手法の提案を行っている。

第3章では周波数成分に特徴が見られる要因の解明に取り組んでおり、部分放電の発生時において、放電発生箇所の局所的な電界強度は絶縁媒体によって異なること、同一の絶縁媒体であっても部分放電発生時の電界強度によって、放電電流波形の立ち上がり部分に変化することを明らかにしている。また電流波形の立ち上がりが急峻になるに伴い放射電磁波により高い周波数成分が含まれることを示した。放射電磁波の周波数分析に新たにウェーブレット解析を適用して、部分放電発生時の周波数成分が電界強度によって変化する様相を明らかにし、各種絶縁媒体に見られる放射電磁波の周波数成分における特徴は、部分放電発生時の電界強度で決定されることを示した。このメカニズムを基にして、新たな絶縁劣化診断手法の開発を進めている。

第4章では絶縁油中で発生する部分放電に見られる周波数成分の特徴を抽出し、変圧器の油入りブッシング内部で発生する部分放電を診断する手法の開発を行った結果

について述べている。すなわち、絶縁油中での部分放電で、特に顕著に表れる 150 MHz 前後の周波数成分に着目し、油入りブッシング内部での部分放電の発生の有無の判別、複数のアンテナを用いた部分放電発生位置の特定、電磁波強度による放電電荷量の推定可能な絶縁劣化診断手法を開発して、実機においてその妥当性、有効性の検証を行っている。

第5章では固体絶縁として重用されるエポキシ樹脂絶縁を用いた機器の劣化診断手法と装置の開発を行った結果を述べている。事故に至る可能性が高い電気トリー進展を伴う部分放電の検出と劣化診断に取り組み、電気トリー進展時にはトリー先端の電界によって、200 MHz から 450 MHz の絶縁油より高い帯域の周波数成分を含む電磁波が放射されることを示した。この帯域の電磁波を検出対象とし、電磁波の強度による放電電荷量の推定や発生頻度によりエポキシ製機器の絶縁劣化診断を可能としている。実フィールドで、本手法の実証試験を実施し、診断対象設備であるキュービクル内のエポキシ樹脂製貫通ブッシングでの部分放電を検出した。また、従来手法との比較により、本手法の妥当性、有効性を検証している。

第6章は総括として、本研究により得られた成果や課題等を述べている。

## 2. 論文審査結果の要旨

安定した電力供給や経済性の確保には、その要である電力機器の絶縁異常による事故を未然に防止する技術が重要であり、機器内部の諸要因により発生する部分放電の検出とそれによる絶縁劣化診断の技術が求められている。部分放電に伴う放射電磁波を計測する手法は、設備の運転停止が不要で、また発生位置標定も比較的容易である。

本論文では、部分放電発生時に放射される電磁波に関して、放電発生源により観測される電磁波の周波数成分に特徴が存在することを見出し、この特徴周波数の決定要因を明らかにすることで、放射電磁波の特徴周波数に着目した設備における部分放電の検知、新たな絶縁劣化診断の手法を提案、実フィールドへの応用を検討している。

まず、空気、絶縁油、エポキシ樹脂等の各種絶縁媒体について、部分放電に伴う放射電磁波の周波数と絶縁媒体における部分放電発生時の印加電界・局部破壊電界強度との関係について検討を行っている。印加電界・局部破壊電界強度の上昇に伴って、放射電磁波の波源である放電電流波形の立ち上がりは急峻になり、より高い周波数成分を含む電磁波が観測されることを明らかにした。さらに、周波数成分の分析法として、新たにウェーブレット解析を適用し、時間領域の情報も含めて、部分放電発生時の周波数成分が電界強度によって変化する様相をより明確にした。これにより、各種絶縁媒体にみられる周波数成分の特徴は、部分放電発生時の電界強度で決定されることを示した。

以上の結果から、放射電磁波の特徴周波数の抽出による、新たな部分放電による絶縁劣化診断法を提案し、油絶縁機器への適用を検討した。基礎的検討において得られた油中部分放電の特徴である 150MHz 付近の周波数成分を実運用されている変圧器の油入りブッシングにおいても検出し、また電磁波強度が部分放電レベルの判定基準である放電電荷量と相関があることを明らかにした。これを基に、油絶縁機器における部分放電の発生の有無の判別、部分放電レベルの判定、部分放電発生位置標定が可能な絶縁劣化診断手法を開発し、その妥当性、有効性の検証を行っている。本部分放電検出および絶縁劣化診断手法は、すでに実用化に至っている。

さらに、本研究による提案手法の適用範囲を広げるべく、電力機器・設備で油による絶縁と並んで、重用されるエポキシ樹脂絶縁の劣化診断を試みている。実機においては、エポキシ樹脂内部での部分放電劣化、電気トリーの発生、進展の過程によって、絶縁破壊事故に至る可能性が高い。この一連の過程について詳細な検討を行い、200～450 MHz の帯域での電磁波の発生とその高周波数側へのシフト、電磁波強度との対応付けが可能であることを示した。これを基に、上記周波数帯のモニタリングによる、対象設備の絶縁劣化状態を常時監視できる技術・装置を開発した。実証試験を実施し、キュービクルのエポキシ樹脂製貫通ブッシングで発生する部分放電の検出に成功して、本提案手法の固体絶縁への適用の有効性を示した。

以上の成果は、新しい絶縁劣化診断手法の提案と検証のみならず、実際の電力設

備における部分放電検出と絶縁劣化診断に適用されるに至っており、機器や設備の保全技術の高度化などに対する工学的価値は大きい。また、その基礎となる部分は、部分放電と放射電磁波における学術的意義が高く、国内外の学会で評価されている。

よって本論文は博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。

また、平成26年1月23日、論文内容およびそれに関連する事項について試問を行った結果、合格と判定した。

平成26年 2月19日

主査 上野 秀樹 印

副査 永田 正義 印

副査 藤原 閔夫 印

副査 畠山 賢一 印

副査 多田 和也 印