

電力システムにおける信頼性向上のための劣化診断技術に関する研究

長崎大学大学院生産科学研究科

服部 修

電力システムは、電気エネルギーを社会のあらゆる場所へ効率的に輸送できる手段として重要なシステムである。社会システムを支える手段として大変重要な役割を果たしている。電力システムの安定性と信頼度は、社会システムを根幹から保障するために機能している。電力システムは、電力流通の安定性を保つことに最大限の注力を払う必要がある。電圧の変動や周波数の変化について厳密に管理されている。電力システムは、多数の発電機が送電設備や変電設備により全て電氣的に接続されており、さらに配電設備は全ての需要家と接続されたおり、大規模なネットワークを構成している。電力システムの運用中は、発電機の停止や、需要電力の急激な変動、送電・配電設備への雷撃などにより、電力システムを不安定化する多数の要因に曝されている。これに備えて、送電・配電設備への落雷により系統電圧の急激な変動が発生した場合、発電所や変電所で電圧変動を検出し、2~3 サイクル以内に送電・配電設備の遮断を行うことで、電力システムの安定性を確保している。この送電・配電設備の遮断を行うため、制御リレーが使用されている。制御リレーは、電圧や電流の変動を検出することと、遮断信号を出すことで、電力用遮断器による電力の遮断を行わせている。制御リレーは、電力システムを安定に保つため重要な機能を果たしている。

制御リレーは、回路の電子化、デジタル化が進み、従来の機構部を持つ機械・接点式リレーから電子回路基板中心へと大きく様変わりしている。電子回路基板の劣化は、診断方法が確立されていないことと、運用途中に実施する定期点検では検出できないことから、評価は難しい状況である。一般的な電子回路基板の劣化は、次の3つの要因が判明している。1 つ目は、腐食による劣化である。結露による水膜の形成、塵埃および腐食性ガスにより腐食が発生する。2 つ目は、半田、プリント基板の劣化である。温度サイクルによりクラックが発生し、導通不良故障を生じる。またマイグレーションと呼ぶ金属イオンによる金属の析出により絶縁不良が発生し、回路の短絡などが生じる。3 つ目は、コンデンサの劣化である。アルミ電解コンデンサは容量抜けや絶縁抵抗低下により容易に経年劣化する。

これまで制御リレーは、故障時の電力システムに与える影響については研究されてきたが、装置としての劣化診断に関して研究がされてない状況であった。

この論文は、制御リレーの劣化と診断方法について行った研究について報告を行う。研究内容は、制御リレーに温湿度サイクル試験を行い、経時変化を検証した。また、これまでの故障原因を分析することにより、電解コンデンサに的を絞って、劣化を外部から診断する手法を研究した。その結果、X線画像の解析によりコンデンサの静電容量減少を診断する手法について新たに開発を行ったことについて報告する。

自然エネルギー由来の発電の中で水力は、約100年前から使用されてきている一般にもなじみのある発電である。水力は、自然エネルギーを利用する発電の中で最も安定性に優れており、発生電力量の制御が容易に行える点で火力、原子力よりも優れており、電力システムの中で主要な電源の1つである。

水力で使用している水車発電機は、水流を回転力に変換する水車タービンと回転力を電気に変換する発電機から構成される。水車タービンと発電機は、スラスト軸により連結されており、水車タービンが回転すると連結された発電機回転子が回転する。この時、発電機回転子から回転磁界が発生することで、発電機固定子へ電気が誘導されることから電力が発生する。この発生電力を固定子巻線と呼ぶ導体より取り出すことにより、電力として利用することが可能となる。固定子巻線は、数千から数万アンペアが流れている。そのため大電流による電磁力と、電磁誘導から発生する熱に常に曝されるという過酷な条件の中で使用されており、水車発電機の中でも最も劣化しやすい部位である。

この論文は、水車発電機の主要部位であり、劣化が起きやすく、重度な事故を起こす可能性がある固定子巻線について、運転中に行う劣化診断であるオンライン劣化診断について行った研究について報告を行う。

研究内容は、営業用水車発電機16台を供試機とし、オンライン劣化診断の実用化をねらい、オフライン劣化診断時にオンライン劣化診断装置で同時に計測を行なった。その結果、オンライン劣化診断装置で計測する部分放電信号とオフライン劣化診断で計測する最大放電電荷量には相関関係があり、部分放電信号を最大放電電荷量に換算できることが分かった。また部分放電信号は固定子巻線に対して静電誘導結合により伝搬しており、巻線構造は波巻の場合に検出しやすいが、重巻では静電誘導結合が弱く測定電圧は小さくなるため検出しにくいことが分かった。一方、オンライン劣化診断装置によるオンライン時およびオフライン時の計測結果の比較から、オンライン測定時の部分放電信号はオフライン測定時と同等かやや大きいことが分かった。以上より、巻線構造が波巻の場合に、オンライン劣化診断装置で計測する部分放電信号を最大放電電荷量に換算することにより、オフライン劣化診断の劣化判定基準を用いることで、劣化状況の把握に利用できることについて報告する。