

## 論文要旨

専攻名 (又は推薦専攻名)	地域イノベーション学専攻	ふりがな 氏 名	おおしま せいいちろう 大島 誠一郎
学位論文題目 分光情報に基づいた油入変圧器の劣化診断に関する研究 (英訳又は和訳: Study on Deterioration Diagnosis of Oil-filled Transformer Based on Spectroscopic Information)			
<p>電気設備は、ビルや工場などのローカルな環境から地方への電力供給といったグローバルな環境まで、様々なレベルで重要なインフラである。電気設備の劣化は、電気火災・感電・停電といった事故に直結するため、適切な保全活動が求められている。近年、保全活動のやり方のうち、センサ・診断機器による情報を活用して故障を未然に防止することを目的とした <b>Condition Based Maintenance (CBM)</b> が注目されている。また、<b>CBM</b> を理想的に実施するためのシステムとして、最適な保全活動と更新時期を検討するアセットマネジメント (<b>AM</b>) と称される取り組みも行われている。</p> <p>電気設備の中で特に重要なのが変圧器であり、その多くが油入変圧器である。油入変圧器では、巻線を保護する絶縁紙、絶縁と冷却を目的として充填されている絶縁油が主な絶縁材料として用いられている。実態調査報告によると、油入変圧器では <b>CBM</b> が適切に実施されていないことが分かっている。その要因として、既存の劣化診断手法では専門業者への委託が必要であり、調整の手間や結果が出るまで数週間かかるなどその場での診断が難しい点、分析結果などから劣化度合いを診断するためのスキル不足や油の採取と補充など現場作業員の手間がかかる点などが課題として考えられる。そこで本論文では、それらの課題を解決し、<b>CBM</b> 情報に基づいた電気設備の管理を実現するための第一歩として、簡易かつ現場対応が容易な油入変圧器の絶縁劣化診断法の開発を目的とした。変圧器劣化の診断指標として絶縁油中に生成するフルフラールに着目し、<b>ICT</b> との親和性が高く、数秒から数分の短時間で測定が可能な点などから現場対応型の計測の可能性がある分光分析法を援用した絶縁油劣化診断法の開発を行った。本論文は全 5 章と基礎的な事項などを記載した <b>appendix</b> (付録) から成る。</p> <p>第 1 章では、電気設備全般に対する点検・保守の現状を整理するとともに、油入変圧器の劣化診断の現状とその課題について述べた。また、油入変圧器の劣化診断に関する先行研究を整理し、その傾向を基に研究の方向性を定め、研究目的を記述した。</p> <p>第 2 章では、分光分析のなかでも有機物質の分子構造(官能基の基準振動)に関わる情報が得られる中赤外分光法に着目し、中赤外分光情報に基づいて <b>Partial Least Squares Regression (PLS 回帰)</b> によりフルフラール含有量が推定できるか検討した。中赤外吸収スペクトル情報には多くの物質の情報が含まれるためその変化は複雑であり、適切に情報を選定しないと推定結果に大きな影響を与えることが考えられたため、吸光度とフ</p>			

フルフラールの相関係数から説明変数となる波数帯を選定したところ、全波数（4,000～550  $\text{cm}^{-1}$ , 1684 変数）の情報をを用いた推定結果より回帰決定係数は  $r^2 = 0.435$  から  $r^2 = 0.725$  まで向上した。以上より、中赤外分光法（分子官能基の基準振動）に基づいて絶縁油中のフルフラール含有量を推定できる手法を開発できた。また、中赤外分光において相関係数に基づいて目的物質（フルフラール）の情報を整理・選択して推定モデル作成のための説明変数を選抜する方法が提案され、分光法を用いた診断の可能性を示すことができた。

第3章では、現場での測定を想定して、比較的安価かつサイズが小さく、簡易な現場対応型装置の構築が可能と思われる紫外・可視分光法に着目した。変圧器内の絶縁油は、劣化が進行すると変色する。そこで、劣化反応初期に見られる絶縁油の外観変化を波長 360～420 nm の吸光スペクトルパターンとして観察した。信号処理の分野で広く使用されるパターン認識手法である Hidden Markov Model (HMM) を用いることで、フルフラール含有量 0～6mg/kg の範囲で良好な推定結果（ $r^2 = 0.896$ ）を得た。変圧器劣化診断における要注意値（1.5 mg/kg）付近のスクリーニング検査の可能性を示すことができた。ただし、推定に寄与すると思われる分光情報の帰属は不明確であることから、紫外可視分光違法を用いた簡易スクリーニングにより要注意の変圧器（今後定期的な検査が必要と思われる変圧器）を簡易的に検査するツールとして用いるのが望ましいと思われる。その後の検査は中赤外分光法や従来分析法（HPLC 法）による検査を実施するなどの使い分けを行うなど、CBM に対する計画を含めたシステム作りが期待できる。

第4章では、簡便な可搬型測定器開発にむけて、中赤外光よりも可視光に近い近赤外光を用いた分光法に着目した。ソーダガラス製円筒容器を用いて、近赤外分光法（分子官能基の倍音・結合音）に基づいた情報を現場で短時間に取得可能な可搬型計測機とソフトウェアを開発し、中赤外分光の吸光度スペクトルを用いた推定結果と遜色ない精度（ $r^2 = 0.710$ ）で、微量な絶縁油で専門知識がない者でも絶縁油の劣化状態を数分程度で簡単に推定できる現地診断装置を開発することができた。中赤外分光法で提案した説明変数を選抜する方法を近赤外分光情報にも適用し、提案した手法が周波数帯の異なる分光情報にも有用であるとともに、現場対応が難しい中赤外分光法と同程度の精度で現場対応可能な診断手法を提示することができた。

以上より、専門知識を持たない保守管理者が簡便かつ短時間（数分程度）で診断が可能なシステムの構築ができたことから、CBM とその先にある AM へと展開できる可能性が示された。これらを踏まえ、本論文の成果を第5章で要約した。

最後に、付録として、絶縁紙の劣化に伴う分子構造変化（フルフラール生成経路）や本論文に関わる分光分析についての基礎事項をまとめた。そのほかに、高速クロマトグラフィー（High Performance Liquid Chromatography : HPLC）自己組織化マップ、HMM、新油種別によるスペクトルの違いとその影響について、吸光度スペクトル二次微分処理について、目的変数選定における相関係数閾値の検討、実機絶縁油中の物質の複雑さ（GC-MS による絶縁油中成分の分析結果）を付録として記載した。

続紙 有 ☐ 無 ☐