

# 電氣的・音響的手法による変圧器の 異常診断技術の最新動向

電氣的・音響的手法による変圧器の最新異常診断技術  
調査専門委員会編

## 目 次

1. まえがき	3	4. 周波数応答解析 (FRA) による診断手法	45
2. 電磁波 (UHF) による部分放電測定法	6	4.1 まえがき	45
2.1 まえがき	6	4.2 測定原理と測定方法	45
2.2 測定原理	7	4.3 診断方法と適用例	48
2.3 UHF センサ	8	4.4 シミュレーション	53
2.4 部分放電測定の基礎調査	12	4.5 規格化動向および今後の課題	57
2.5 部分放電測定事例	17	5. その他最新診断手法	58
2.6 UHF 信号の電磁解析技術	26	5.1 壁面センサ測定法	58
2.7 規格化動向および今後の課題	30	5.2 回復電圧測定法 (RVM)	61
3. 音響的手法 (AE) による部分放電測定法	32	5.3 分極および脱分極電流法 (PDC)	66
3.1 まえがき	32	5.4 周波数スペクトル分析法 (FDS)	71
3.2 測定原理	32	5.5 光学的手法	73
3.3 AE センサによる測定	33	6. あとがき	79
3.4 シミュレーションとウェーブレット変換	36		
3.5 光ファイバセンサによる測定	41		
3.6 規格化動向および今後の課題	44		

# 電氣的・音響的手法による変圧器の最新異常診断技術 調査専門委員会委員

委員長 大久保堅司(富士電機)  
幹事 津村英和(ダイヘン)  
幹事補佐 鈴木崇之(富士電機)  
委員 匹田政幸(九州工業大学)  
小島寛樹(名古屋大学)  
水谷嘉伸(電力中央研究所)  
千田英昭(東京電力)  
緒方研介(中部電力)  
末房豊和(関西電力)  
清水健二(九州電力)  
内山雅喜(東芝)  
山岸明(日立製作所)  
石倉隆彦(三菱電機)  
宮田泰之(日新電機)  
高砂淳(東光高岳)  
高橋誠(愛知電機)

途中退任  
幹事退任  
途中委員

和田智之(東光高岳)  
奥山博之(東京電力)  
菊地学(中部電力)  
東巧一(関西電力)  
板津大介(東芝)  
清水芳則(三菱電機)  
水野康宏(愛知電機)  
青木康二郎(東京電力)  
淵敏康(九州電力)  
岡田学(関西電力)  
星野将雄(東光高岳)

主な  
参加者

## 1. まえがき

2011年3月に発生した、東日本大震災により、電力機器の安全性だけではなく、災害時の機器の影響評価が求められている。同時に、電力料金抑制などの経済性の観点から機器の長期的な運用も求められているが、一般に運転年数の増大とともに事故率の上昇は避けられない。経年変圧器の信頼性確保と機器の長期的活用という、相反するニーズに応えるためには、機器の異常診断、劣化診断あるいは余寿命診断技術の高度化が望まれており、災害対策の観点からも必要性が高くなっている。内外共に、従来の定期点検をベースとした TBM (Time Based Maintenance) から、稼働中の機器の状態を的確に判断し保守する CBM (Condition Based Maintenance) の考え方が急速に広がってきている。

このような状況下で、ここ 10 年間の変圧器の信頼性技術の歩みを振り返ってみると、電気学会技術報告第 922 号「経年変圧器の信頼性維持技術の現状と動向」(2003 年)に劣化診断技術を中心にまとめられている。その後も部分放電監視装置、油中ガス監視装置の実用化や異常診断の高度化に向けた取組みがなされてきた。そこで、油入変圧器の信頼性の高い運用に対する技術貢献を目的に、電気学会技術報告第 1191 号「油入変圧器保守診断技術の最新動向」(2010 年)がまとめられている。

一方、変圧器と同様な送変電機器であり、30 年以上運転実績を持つガス絶縁開閉装置 (GIS : Gas Insulated Switchgear) については、保守診断技術の中の部分放電検知手法として、電気学会技術報告第 982 号「ガス絶縁機器における部分放電現象と検知技術の最新動向」(2004 年)としてまとめられている。

変圧器の部分放電検知手法としても、同様な取組みが行われているが、変圧器内部構造の複雑さにより、部分放電の発生位置を精度良く把握することが難しく、運転時での実施例が少ないのが現状である。

このような変圧器の部分放電検出は、ISH (International Symposium on High Voltage Engineering) などの国際会議で海外の機関を中心に活発な研究発表が行われており、この数年で海外では大きく研究および実用化が進んでいる。このため、電氣的・音響的手法による変圧器の異常診断技術に特化して、2010 年 10 月から 4 年間の調査活動を行い、その間、40 回の委員会と 2 回の研究会、2 回の大学研究室の見学会を開催するとともに、国内外の文献、技術資料の調査を行った。また、油入変圧器の保守診断技術に関連する CIGRE および IEEE の活動状況も合わせて調査した。特に巻線の周波数応答解析 (FRA) 法については、2012 年に制定された IEC 規格についても紹介した。また、その他の最新診断手法についても調査を行った。

今回調査した電氣的手法、音響的手法、そして光学的手法について以下のように定義した。①電氣的手法とは、変圧器の異常現象時に発生する電氣信号 (電圧または電流、

電磁波) や外部から変圧器に電氣信号を入力して、その電氣信号の変化を検出することにより診断する手法である。②音響的手法とは、部分放電で発生する超音波 (10kHz~2MHz) を音響センサや光ファイバセンサで検出する手法である。③光学的手法とは、絶縁物表面の色調などの変化を検知し、電氣信号に変換して診断する手法である。

表 1 に従来および最新の変圧器異常診断手法について、診断手法ごとの利点および欠点を記述した。また、以下に本報告で調査した概要について記載したので、合わせて読者の理解の一助としていただきたい。

### 「電磁波 (UHF) による部分放電測定法」

部分放電測定技術として大きく進歩してきており、部分放電箇所の特定が高い精度で行えると期待されている電磁波 (UHF) 法について、測定原理、センサ測定原理、従来法 (IEC60270) との比較、タンク内外での測定事例、また、実験だけではなく、UHF 信号伝搬における様相の変化を検証するため、実施されている電磁解析事例についての調査検討も行った。

### 「音響的手法 (AE) による部分放電測定法」

音響 (AE) による部分放電測定について、従来、広く適用されている AE センサ (圧電素子など) だけではなく、光ファイバ型センサについても測定原理を調査した。また、変圧器内部での音波の伝搬特性を把握するためシミュレーションの利用や検出感度を向上させるためのウェーブレット変換手法についても調査を行った。

### 「周波数応答解析 (FRA) による診断手法」

変圧器の事故に至る要因となる巻線の変形、位置ずれ、鉄心や接地の異常などを外部から診断する手法として従来の短絡インピーダンス法より詳細な診断が期待できる FRA について調査を実施した。測定原理および測定方法だけではなく診断基準の作成のためのシミュレーション解析事例についても調査を行った。

### 「その他最新診断手法」

新しい部分放電測定法として、部分放電時に流れる充電電流をタンク壁に面接触させた壁面センサにより検出する壁面センサ測定法について調査した。

油一紙絶縁系の水分量を電氣的に診断する手法としては、3 手法について調査した。①直流電圧の回復電圧によって診断する回復電圧測定法 (RVM) ②直流電圧を印加した時の分極電流・脱分極電流から診断する分極および脱分極電流法 (PDC) ③3 手法の中で最も精度よく水分量を測定できると期待されている、周波数に依存する電氣的キャパシタンスと誘電正接 ( $\tan \delta$ ) を測定することにより劣化を診断する周波数スペクトル分析法 (FDS)。

光学的手法として、絶縁紙や絶縁油の劣化度合に応じて変化する吸光度差や色調を検知する手法、発光強度差を用いた絶縁油中の硫黄濃度を検出する手法を調査した。

本報告書が変圧器の信頼性の高い運用に活用され、保守診断技術の一層の発展に貢献できれば幸いである。