

変電所設備の音響モニタリングに関する研究



内山 陽介*1



平野 太一*2



小貫 素彦*2



鈴木 秀康*3

Study on acoustic monitoring of substation equipment

Yosuke UCHIYAMA*1, Taichi HIRANO*2, Motohiko ONUKI*2 and Hideyasu SUZUKI*3

*1 Kawasaki Power Plant *2 Technical Center, Research and Development Center of JR EAST Group

*3 Electric Power Technology Center, Omiya Branch Office

Abstract

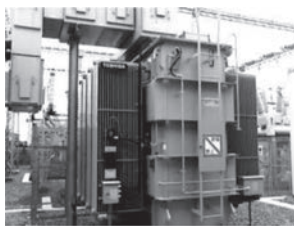
We are trying to grasp abnormal signs of equipment by monitoring that the sounds emitted from each equipment in a substation. In this time, we conducted abnormal sound detection test of transformer and collected sound data. We were able to visualize abnormal sounds in the audible range by wavelet transform.

●**Keywords:** Substation, Transformer, Wavelet transform, Abnormal sound, Partial discharge

1. はじめに

当社には、自営の発電所や電力会社から供給される電力を電車へ供給するため、運転用変電所が設置されている。運転用変電所は図1に示すような様々な設備で構成されており、これらの設備は人が定期的な巡回を行い、視覚や聴覚、嗅覚等を頼りに異常の有無を確認している。

一方、将来の少子高齢化や就労人口減少による保守要員の減少が懸念されている。そこで、保守の省力化に向け聴覚部分の置き換えを目指しマイクを用いたセンシングにより設備が発する音響を捉え、音響の変化から設備の異常を検出する手法の研究を行っている。



(a) 変圧器



(b) 整流器



(c) 交流しゃ断器



(d) 直流しゃ断器

図1 運転用変電所の主要設備

2. 運転用変電所設備の音響

運転用変電所において音響を発する設備は2つに分類される。設備が動作する時のみ音響を発する「可動器」と、磁束変化等による振動が音響となって表れる「静止器」とがある。これらの設備の音響を測定するために、様々なマイクの中から選定を行った。音響は、音の大きさを示す音圧レベルと音の高さを示す周波数の2つの要素で構成され、人が認識できる音圧レベルは0~130dB程度、周波数は16Hz~20kHz程度であり、可聴域と呼ばれている。この可聴域の音響を集音可能なマイクを用いることとした。

マイクは測定時に騒音が入り込まないように、運転用変電設備の筐体内部や操作箱内部に設置した。なお、変圧器は筐体内部にマイクを設置することができないため、集音効果を高める集音器(パラボラ)を組み合わせて測定を行った。交流しゃ断器の音響測定状況を図2(a)に、変圧器の音響測定状況を図2(b)に示す。

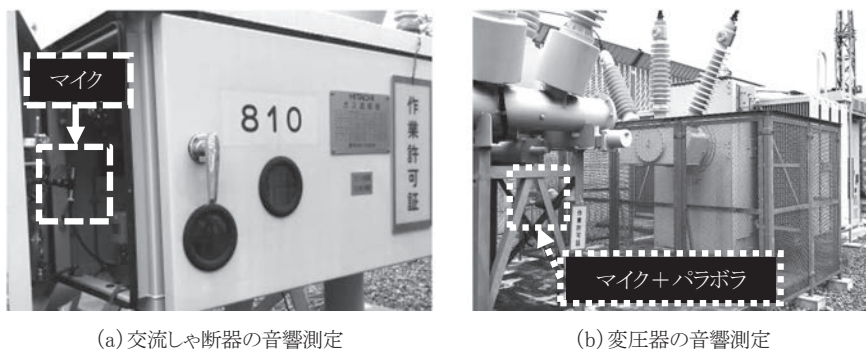


図2 変電設備の音響測定

2・1 しゃ断器の音響

可動器の代表的な設備として交流しゃ断器と直流しゃ断器があり、入りから切り、切りから入り動作時に音響を発生する。メンテナンス前後で音響に違いが表れるかを調査するため、交流しゃ断器のオーバーホール前後で動作音響を測定した。

オーバーホール前の交流しゃ断器動作時の音圧レベルの測定データを図3 (a) に示す。この交流しゃ断器の音響は、切動作時は単発の衝撃音、入動作時は衝撃音と蓄勢バネの巻き上げ音で構成されている。音圧レベルのグラフでは周波数がどのように分布しているのか判別できないため、音の高さの変化が捉えにくい。そこで、測定データを時間-周波数変換(ウェーブレット変換)により次元を増やし、時間-音圧レベル軸を時間-周波数-音圧レベル軸に表現することで、周波数の分布を可視化した(図3 (b))。蓄勢バネの巻き上げが100Hz~20kHzに分布していることがわかる。

オーバーホール後の交流しゃ断器動作時の測定データおよびウェーブレットグラフを図4に示す。図3右図と図4右図の破線で囲った部分の周波数帯において、オーバーホール前の音圧レベルが高いことがわかる。これは、蓄勢バネを巻き上げるための電動機のグリスやベアリング等が経年により損耗したことで、約200Hzの音圧レベルが高くなってきていることが示唆される。異なる型式の交流しゃ断器で蓄勢バネの巻き上げ音響を調査した結果、約200Hzで類似した傾向が表れることを確認した。

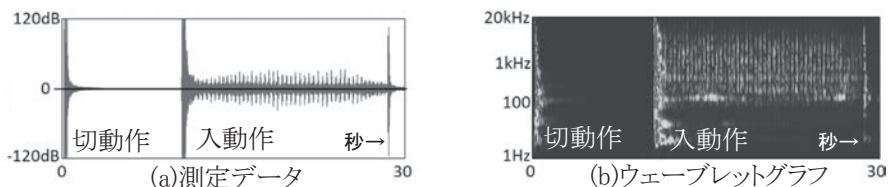


図3 交流しゃ断器オーバーホール前の音響分布

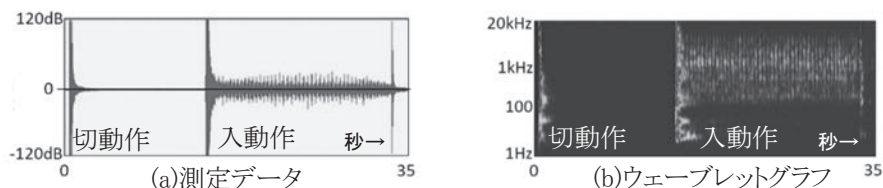


図4 交流しゃ断器オーバーホール後の音響分布

2・2 静止器の音響

静止器の主要な設備として変圧器と整流器があり、変圧器は磁束が鉄心に鎖交することで磁歪が生じ、電源周波数(50Hz)の2倍の整数倍に比例した振動が発生することで励磁音が発生する。変圧器音響の測定データを図5 (a) に、ウェーブレット変換した音響を図5 (b) 右図に示す。主に100、400、1,000Hz等、電源周波数の2倍の整数倍に分布する特徴がある。

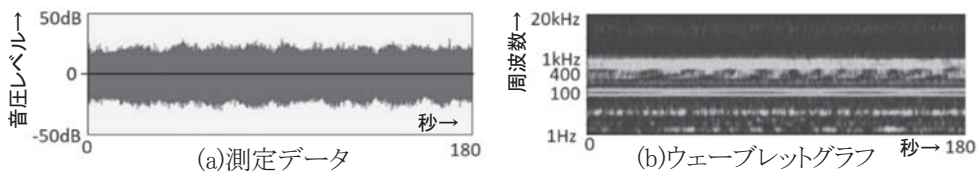


図5 変圧器の音響分布

整流器音響の測定データを図6 (a)に、ウェーブレット変換した音響を図6 (b)に示す。主に25、50、100、200Hz等の周波数に分布しており、変圧器と同様に特定の周波数帯に分布する傾向がある。図中、50Hz帯の音響が弱くなっている箇所は、180秒の測定中における電車負荷が小さいタイミングである。整流器の音響は電源周波数である50Hz以下にも分布していることから、発生要因を今後継続して調査していく予定である。

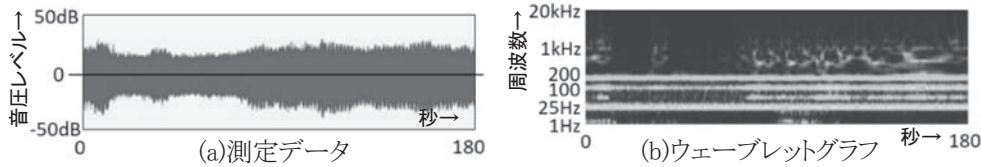


図6 整流器の音響分布

変圧器や整流器が正常に運転している時、負荷の大きさに応じて音圧レベルは変化するが周波数の分布は変化していない。この特性から、設備に異常が発生して可聴域の異音が発生した際、正常運転時と異なる周波数帯に音圧レベルが表れるのでないかと考えた。そこで、変圧器が異音を発する故障モードについて検討した。

3. 変圧器の異音検出試験

3・1 変圧器の内部異常と模擬作製

変圧器の内部異常は、雷侵入等による異常電圧、絶縁紙の劣化による絶縁耐力の低下、層間短絡（レアショート）等が考えられる。これらの異常が発生すると巻線間の絶縁が保てず放電が発生し、健全時には検出されないアセチレン等のガスが発生する。異常の度合いにより部分放電、放電、アーク放電という形態を取り、絶縁油中に発生するガス成分の比率が変化する¹⁾。当社管内の変圧器において、雷侵入が要因と推定される変圧器の内部故障が発生しており、その絶縁油中のガス成分比率からアーク放電が発生していたと推察されている²⁾。

放電やアーク放電は常時音を発している可能性があり、巡回中に人の耳で捉えられると考えられる。それに対し、部分放電は低エネルギー放電であることから音圧レベルが小さくなることが想定され、励磁音に埋もれる可能性がある。そのため、巡回中に人の耳で捉えることは困難と考えられる。

そこで、変圧器内部で部分放電が発生した際の音響をマイクで捉えることが可能かを調査するため、変圧器の内部巻線にレアショートを人為的に作製した。調査には、分解および改造が容易な小容量の変圧器を用いた。表1に調査に用いた変圧器の仕様を示す。No.1を健全変圧器、No.2を異常変圧器として1-4層間を接近させ、レアショートを模擬作製し、供試体とした。図7に変圧器故障模擬箇所と内部異常の作製イメージを示す。

表1 供試体変圧器の仕様

	No.1	No.2
型式	RPS243(1φ3W)	
定格電圧	6,600V / 210-105V	
定格容量	10kVA	
パーセントインピーダンス	2.73[%]	

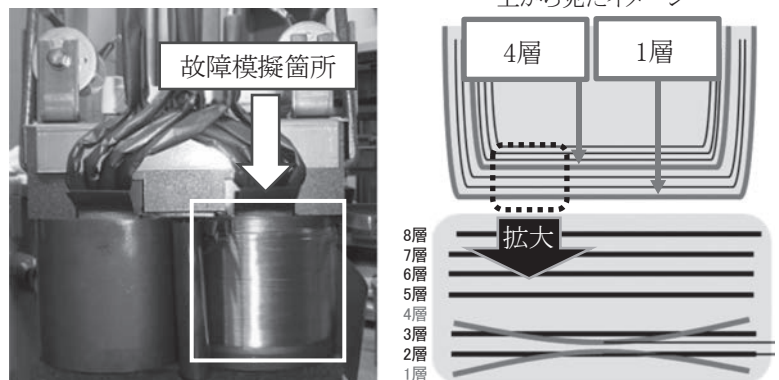


図7 変圧器故障模擬箇所と内部異常の作製イメージ

3・2 供試体変圧器の音響測定と部分放電測定結果

各供試体の音響は、供試体から2m離れた箇所にマイクを設置し、各試験電圧で1分間集音した。部分放電電荷量の測定結果を表2に、図8に試験風景を示す。健全変圧器では部分放電および異音が発生せず、異常変圧器では2.0kV以上で部分放電電荷量が明らかに異常と認められる1,000pC以上発生し、異音が数回確認できた。

表2 供試体変圧器の部分放電測定結果

試験電圧 [kV]	健全変圧器		異常変圧器	
	電荷量[pC]	異音	電荷量[pC]	異音
0.0	0	無	0	無
1.0			0	無
2.0			1,000以上	有
3.0			1,000以上	有

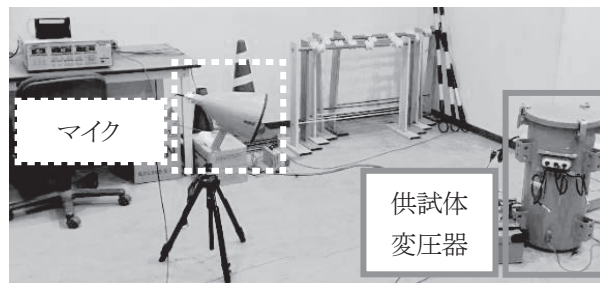


図8 部分放電測定および音響測定状況

3・3 異音の分析結果

健全変圧器および異常変圧器の測定データとウェーブレットグラフを図9に示す。1分間の測定中、開始および終了時に測定器操作音が含まれていたことから、その時間を除いた50秒間の音響データを調査対象とした。変圧器の特徴である100、400、1,000Hz等の電源周波数の2倍の整数倍に周波数が分布している。異常変圧器では測定中に数回異音を確認できたものの、健全変圧器と比較して測定データ、ウェーブレットグラフのいずれも顕著な差は見られない。

聴覚で異音を確認できたことから、測定データを1kHz毎にフィルタ処理を行い調査した。その結果、ある周波数帯で健全変圧器では見られない突発的な波形が複数回確認でき、異音のタイミングと一致した。この部分の波形を0.5sに拡大し、再度ウェーブレット変換を行った結果を図10に示す。突発的な波形は、1kHz以上の周波数帯に分布することを把握することができ、異音を可視化することができた。

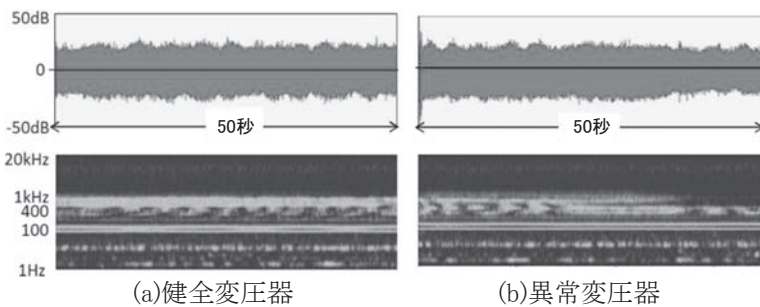


図9 試験電圧3kV時の音響 (t=50秒)

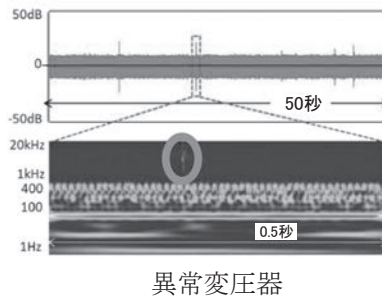


図10 試験電圧3kV時の音響 (t=0.5秒)

4. まとめ

運転用変電所の設備が発する音響を可聴域測定が可能なマイクで集音し、ウェーブレット変換により音圧レベルと周波数分布を可視化することで代表的な設備の音響を持つ周波数分布を調査した。また、変圧器の内部故障の一つであるレアショートを模擬して部分放電を発生させ、マイクで集音した音響データを分析し、異音を可視化することができた。今後は運転用変電所の設備音響を集音し、実環境での異音検出が可能かの検証を進めていく。

参考文献

- 1) 社団法人電気共同研究会：“電力用変圧器改修ガイドライン”，電気共同研究，第65巻，第1号，(2009)
- 2) 中川綾夏，天田博仁，和田政幸，小山大介，山添英樹，清水克幸，石原紀章，斎藤直樹：“電鉄用変電所の雷害事象について”，電気学会産業応用部門 交通・電気鉄道研究会，TER-17-032 (2017)