

き電システムのメンテナンス軽減技術

電力技術研究部 き電研究室

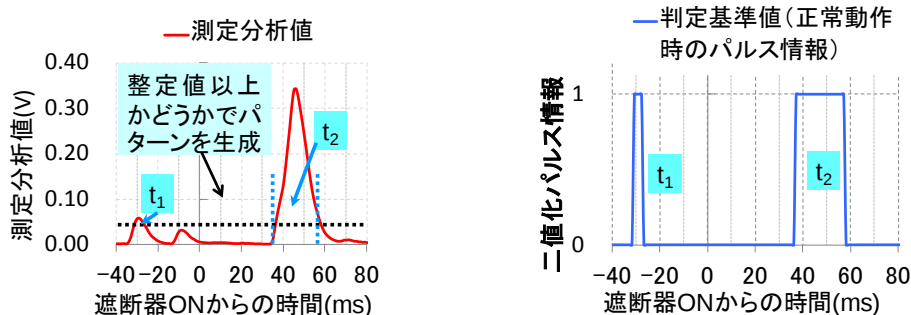
副主任研究員 赤木雅陽

1. はじめに

鉄道事業者では、き電システムに存在する変電所機器や電車線路等のメンテナンス作業に多大な労力を費やしている。ここでは、センサ技術に基づくメンテナンス作業軽減への取り組みとして、変電所遮断器の振動解析による故障予測、半導体匂いセンサによるケーブル過熱検知、環境センサによる高圧がいし汚損環境の評価、ならびに経年ポリマーがいしの機械的強度評価の結果について紹介する。

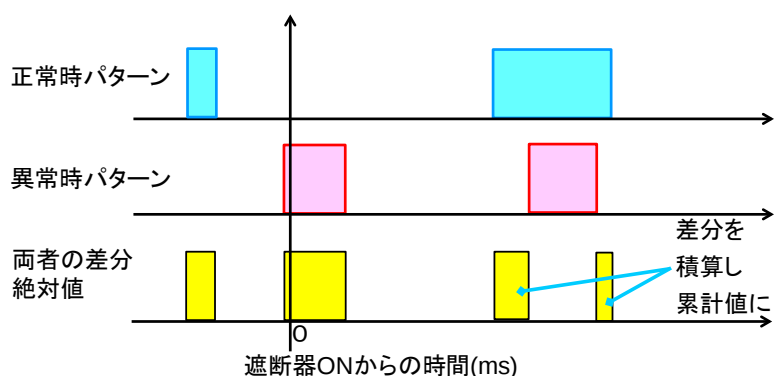
2. 振動解析による遮断器の故障予測手法

遮断器は電車線での短絡故障や過負荷に対する保護を行う重要機器であり、万一の際は迅速に開放動作することで短絡故障等に伴う影響を除去する必要がある。遮断器の開閉動作の良否を検討する手法としては、開閉時間特性を用いる手法などがあるが、今回は振動測定データの分析値について二値化パルス情報に置き換えパターン化することで良否を判定する手法を考案した。



(a)測定分析値を整定値と比較しパターン化

(b)パターンを登録



(c)正常時パターン（判定基準値）と異常時パターンの差分絶対値を積算

図1 遮断器開閉動作の良否判定処理プロセス

図1に処理プロセスを示す。まず高周波に対応した圧電式振動センサにより振動データをサンプリングする。次にフィルタ処理を施した測定分析値（図1(a)）を、ある整定値を超過している

かどうかをもって二値化パルス情報（図 1(b)のパターン）に変換し、遮断器正常動作時のパターンを判定基準値として予め登録する。その上で、異常動作時のパルス情報測定値と判定基準値とを、ある基準時間毎（例えば 1ms 毎）に比較し、その差分累計値がある一定値以上になったことをもって遮断器の動作状況の良否を判定するものである。

ある直流遮断器が投入動作した時の振動データに本手法を適用した結果を表 1 に示す。なお、遮断器の主回路部に重りを付加することで異常動作を模擬した。また、判定基準値は正常動作 1 回目の値を登録した。表より、測定分析値の 2 乗累計値は正常時においても大きなばらつきが生じるため、この値を判定に用いると誤判定の可能性が高いと考えられる。一方、二値化パルス情報合計値と差分累計値は安定した値が得られていることが分かる。これによるトレンド分析を行うことで、異常判別を容易に行うことができる。

表 1 二値化パルス情報に変換する手法の検証結果

	正常時 1 回目	正常時 2 回目	正常時 3 回目	異常動作模擬時
二値化パルス情報合計値	140	146	139	107
差分累計値 (正常時 1 回目を登録)	—	6	3	33
測定分析値の 2 乗累計値	4.94	3.01	2.75	1.73

3. 半導体匂いセンサによるケーブル過熱検知

変電所は変圧器や配電盤などの各種機器から構成されている。配電盤における故障の原因の一つに、電力ケーブル等の過熱があげられる。ケーブル被覆材の構成要素の一つであるビニルシースには、ケーブルに可撓性を持たせる目的で、基材であるビニルに通常約 20%の割合で可塑剤が混合されているが、過熱により電力ケーブルや電気機器の絶縁材料が熱せられると、可塑剤等の揮発性有機化合物成分（VOC: Volatile organic compounds）がケーブル表面から放出される。このため、火災に至る前の前兆段階で VOC を検知できれば被害を軽減できる可能性がある。

そこで、電力ケーブルなどから生じる VOC を半導体匂いセンサにより連続記録するケーブル過熱検出装置を製作し、電力ケーブルの過熱試験を行った。図 2 に電力ケーブルの過熱モデルを、図 3 にケーブル過熱検出装置を示す。

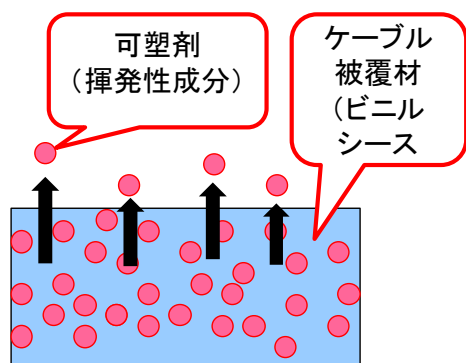


図 2 電力ケーブルの過熱モデル



図 3 ケーブル過熱検出装置

その結果、図 4 に示すようにケーブルの可塑剤が揮発する 150℃前後から温度変化に対する指示値の上昇度合が急激に大きくなることが確認できた。本結果はガスクロマトグラフによる事前

の検証結果と同じ傾向であり、ケーブル表面から放出される揮発性成分をセンサにて適切に検知していることを示している。よって、センサ指示値が急上昇することをもって過熱と判定することができる。

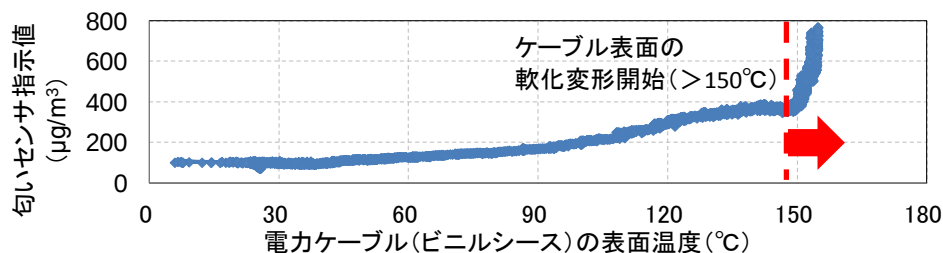


図4 半導体匂いセンサを用いた電力ケーブルの過熱検知試験

4. 環境センサによる高圧がいし汚損環境の評価

がいしの絶縁性能は、当該がいしまたは近傍の仮設パイロットがいしの漏れ電流測定で確認できる。しかし、すべてのがいしへ測定装置を仮設するのは現実的ではない。そこで、大気中腐食進行計測用のACM(Atmospheric Corrosion Monitor)センサを用いた、漏れ電流の間接的な測定に基づく保全管理手法を検討した。図5にACMセンサの原理を、図6にACMセンサの構造を示す。本センサは、金属腐食の原理に基づいて動作することから高圧課電が不要であり、取付けおよび測定も容易である。

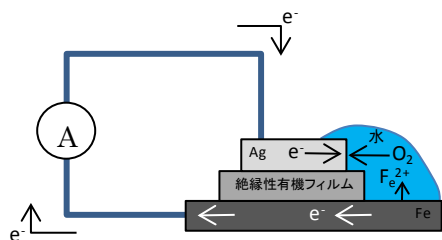


図5 ACM センサの原理

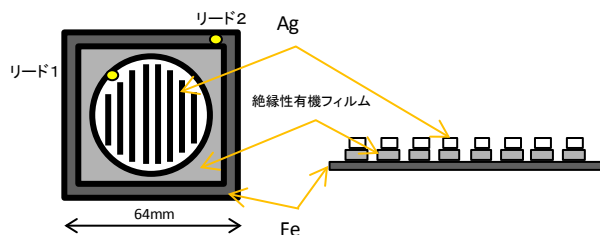


図6 ACM センサの構造

がいしの汚損度を表す等価塩分付着密度（以下、ESDD : equivalent salt deposit density と記す）は、従来筆洗い法等で測定されてきたが、測定日の天候に測定結果が左右されるため、最大汚損指標を得られない場合がある。そこで、鉄道総研勝木塩害実験所（新潟県村上市）における筆洗い法による測定結果とACMセンサ出力から算出したESDD換算値を比較した。図7に示すように、センサを用いたESDD監視が可能であることを確認するとともに、漏れ電流はESDDが0.4 mg/cm²を超えたあたりから急増することも確認した。

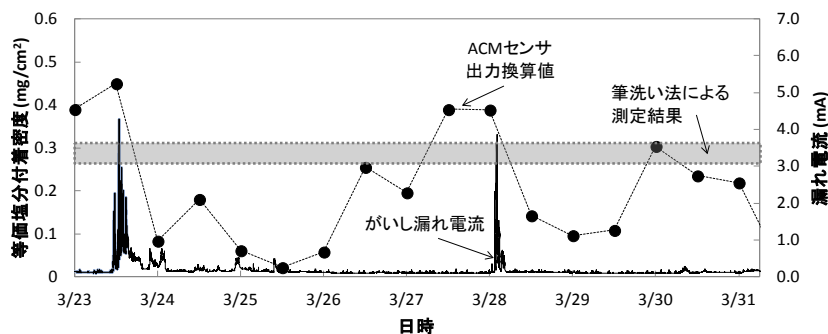


図7 塩分付着密度量と漏れ電流、ACM センサの相関関係（2012年3月）

また、既設の高圧がいしの保守に際して適切な指標があれば、優先順位を付けた部分取替等によるコスト削減が期待できる。そこで、設置環境の異なる区間毎に ACM センサを 1～2 ヶ月程度仮設して連続的に ESDD 換算値を測定し、標準汚損区分と照合することで、区間毎の保全周期等の指標を得る手法を検討した。図 8 に示すように、設置環境の異なるいずれの箇所についても、ACM センサによって環境条件に応じた出力を定量的かつ連続的に得られるようになった。本データを活用することで、区間ごとに柔軟な保全周期を策定することが可能になるものと思われる。

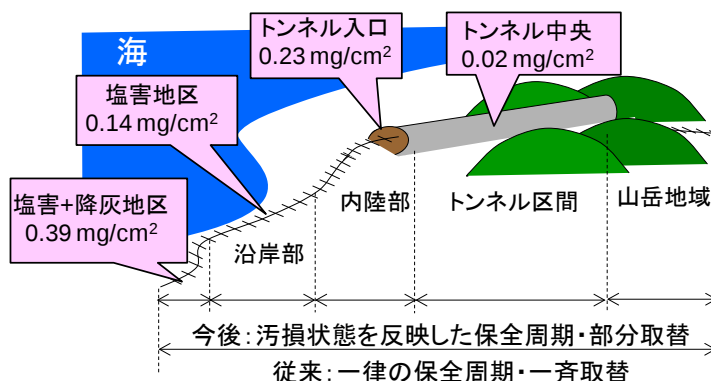


図 8 環境条件に応じたメンテナンス周期策定手法

5. 経年ポリマーがいしの機械的強度評価

ポリマーがいしの引留箇所への導入初期においては、引張荷重および曲げ荷重により破断する事象が報告されている。そこで、勝木塩害実験所において 2 年 3 ヶ月間課電暴露した供試品および現場で十数年実使用されていた撤去品に対して、懸垂がいしは引張試験、長幹がいしは曲げ試験を実施し、機械的強度を確認した。懸垂ポリマーがいしの引張試験の例を図 9 に示す。

引張破壊荷重試験の結果、最長 15 年実使用した AC20kV 用懸垂ポリマーがいしの撤去品（12 本）は、磁器がいしの強度規定値（75kN）に対して 1.9 倍以上と実用上十分な強度を有していた。同様に、2 年 3 ヶ月程度課電した DC1.5kV 用ポリマーがいしの供試品（7 本）は残存強度が規定値の 1.7 倍以上であった。

曲げ破壊荷重試験の結果、2 年 3 ヶ月暴露課電した AC20kV 用長幹がいしの供試品（5 本）は、未使用品と比較して若干の強度低下が確認されるものの、磁器がいしの強度規定値（2.3kN）に対して 18.3 倍以上の曲げ強度を保っていた。同様に、DC1.5kV 用長幹がいしの供試品（5 本）も 2 年 3 ヶ月暴露課電による強度低下はほとんど認められなかった。



図 9 ポリマーがいしの引張試験

6. まとめ

センサ技術に基づく電系統のメンテナンス軽減への取り組みとして、変電所遮断器の振動解析による故障予測、半導体匂いセンサによるケーブル過熱検知、環境センサによる高圧がいし汚損環境の評価、ならびに経年ポリマーがいしの機械的強度評価の結果について紹介した。今後は、これらの状態監視技術が既存の時間基準保全に基づく検査手法をどこまで代替しうるのか等について検証を進めていく予定である。