

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

変電所の異常を検知する

電気鉄道用変電所は、電車に電気を供給するき電システムの要とすべき重要設備です。このため、変電所の異常を早期に検出するためにさまざまな対策が講じられており、そのなかには電気鉄道特有のものも含まれています。本稿では、電気鉄道用変電所におけるセンシング・モニタリング技術の現状を述べるとともに、き電ケーブルの地絡検知やにおい物質を利用した電気火災検知などの最新の研究成果を紹介します。

電気鉄道用変電所の構成

電車に電気を供給するき電システムは、主に電気鉄道用変電所と電車線設備から構成されています。電気鉄道用変電所は一般に電力会社の交流を電源としており、電力会社からの高電圧を適切な電圧に変換する変成器類、雷などの過電圧から回路を保護する避雷器、電気回路に過大な電流が流れた場合に回路を迅速に開放して各機器を保護する遮断器、回路や各機器の状態を監視し、異常事象を検出した場合に遮断器に遮断信号を与える保護装置などから構成されています。変成器には変圧器（及び直流区間では交流を直流に変換するシリコン整流器）、保護装置には過電流リレー（故障選択装置）などが標準に用いられています（図1）。

変電所を監視するセンサー

変電所の保護装置の代表的な監視項目としては、電圧、電流、圧力、温度などが挙げられます。例えば過電流リレーには電流値の絶対値や急変量を検出するセンサーが、圧力リレーには遮断器などの絶縁ガスの変化を監視するセンサーが、温度リレーには変圧器を

冷却する油の温度などを監視するセンサーが組み込まれています。

ところで、変電所の機器の状態を監視するにあたりなぜ多様な保護装置が必要となるのでしょうか。これには、変電所の制御に関する歴史を紐解く必要があります。

昭和20年代までの変電所では、各変電所毎に駐在する保守員が昼夜交代で監視と機器の制御を行っていました¹⁾。しかし、輸送量や営業区間が急激に増加するのに伴い変電所を増強する必要がありました。そのすべてに保守人員を配置するのが次第に困難となっていきました。そこで、一箇所の監視所から複数の変電所を制御できる遠方監視制御装置の導入と、万一異常事象が生じた際に監視所へ異常事象の内容を送信した上で、遮断器などに開放指令などの制御信号を与える保護装置の強化が図られました。

現在では表1に示すような各種センサーを駆使することで、監視所に駐在する数人の監視員が数十の変電所を同時に監視制御することが可能となっています。また、それぞれのセンサーは基本的に電気鉄道用変電所用として専



赤木 雅陽
Masataka Akagi
電力技術研究部
き電研究室
副主任研究員
【専門分野】き電システムの保護技術、電気機器の劣化検出技術



潮木 知良
Tomoyoshi Ushioji
人間科学研究部
生物工学研究室
主任研究員
【専門分野】化学工学

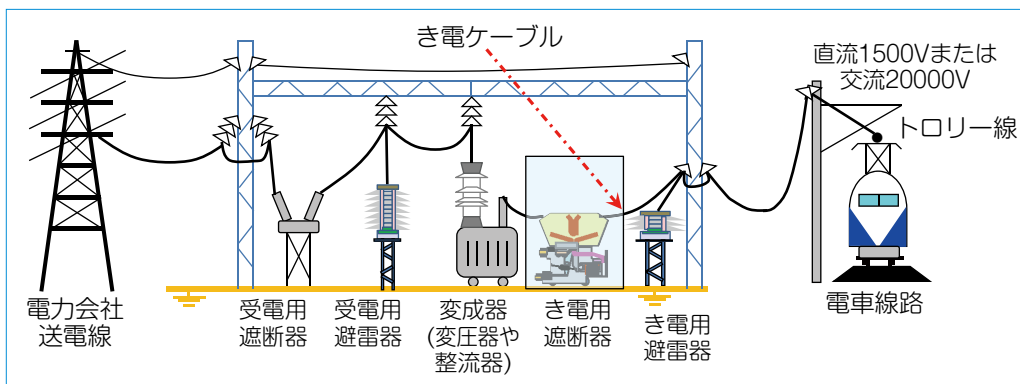


図1 電気鉄道用変電所の構成例

表1 電気鉄道用変電所における代表的な監視センサーの例²⁾

監視対象	監視項目	監視技術	家庭での同種リレーの有無
遮断器	絶縁ガス圧力	圧力センサー	有り (例: ガスメーター)
	電流	過電流リレー	有り (例: ブレーカー)
変圧器	油温	温度センサー	有り (例: ガスコンロの過熱防止装置)
	油圧	圧力センサー	有り (例: ガスメーター)
変電所全体	電力量	電力量計	有り (電力量計)
	火災	煙・熱センサー	有り (例: 火災報知器)

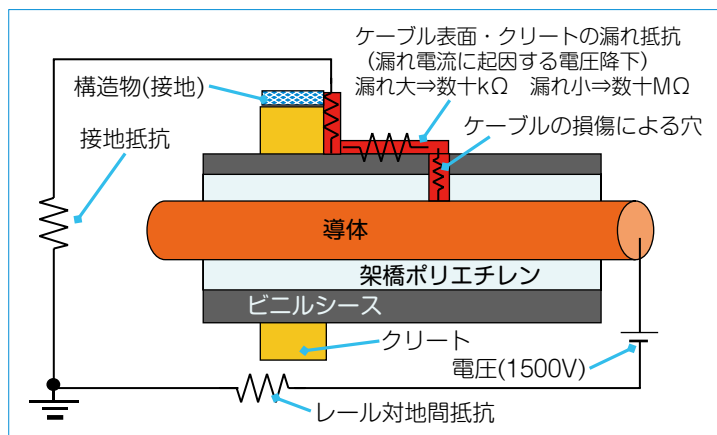


図2 直流き電ケーブルの故障原理



図3 き電ケーブルの焼損再現試験

用に設計されていますが、同じような趣旨の機能を有するセンサーは意外と各家庭にも設備されています。

き電ケーブルの故障検知

さて、これまで種々の保護装置で変電所の状態を監視できるようになったと述べてきましたが、実際にはごく希にはありますが保護装置での監視がうまくいかず、機器が故障、焼損に至ってしまうことがあります。本節では、その一例としてき電ケーブルの地絡事象を取り上げるとともに、その対

策として開発した直流き電ケーブル故障検出装置を紹介します。

直流き電ケーブルの故障原理

直流き電回路で使用されている直流き電ケーブルは、絶縁体には架橋ポリエチレン、シースと呼ばれる外皮にはビニルが使用されています。また、直流き電ケーブルは、クリートと呼ばれる合成樹脂製の絶縁材で構造物に支持されています(図2)。

もし絶縁体やシースが損傷して穴が開いた場合、乾燥時にはケーブル表面の漏れ抵抗は数MΩと大きな値なの

で電流はほとんど流れず特に支障はありません。しかし、雨などによりケーブル表面の漏れ抵抗が数十kΩまで低下すると状況が一変します。通常直流き電システムは1500Vの電圧を用いていますので、ケーブル表面と地面との間に数十mAの電流が流れてしまいます。一見大したことの無いように聞こえますが、実際には図3のように、ケーブルは時に激しい炎を上げながら焼損に至る場合があることが知られています。

一般に直流き電回路における高抵抗

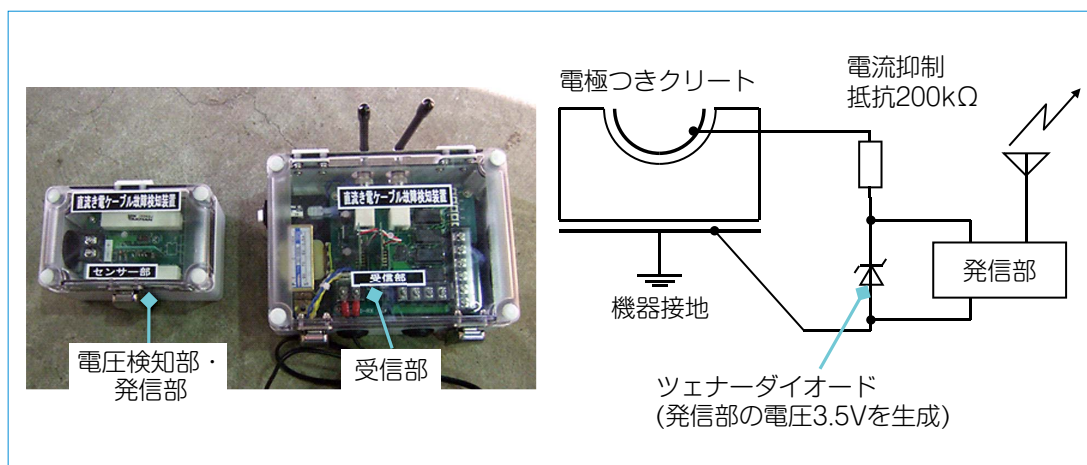


図4 直流き電ケーブル故障検出装置

地絡故障は、故障電流が電車の電流と同程度以下になることから過電流リレーなどの従来の保護装置では保護することが困難ですが、特にこの直流き電ケーブルの故障事象は故障電流値が微弱であることから、何らかの対策が求められていました。

直流き電ケーブル故障検出装置

ケーブルが損傷するとケーブル表面と地面との間に故障電流が流れることがあると述べましたが、この故障電流を逆に積極的に活用することによる保護方式を考案しました³⁾。

本装置の概要を図4に示します。導電性の電極をクリート部に設け、電流抑制抵抗を経由するように故障電流の経路を構成しています。保護装置への故障情報の発信には、故障電流自体で装置を駆動できるように、消費電流の小さい(2.5mA)無線モジュールを利用しました。これらにより、外部電源や内蔵電池が不要な地絡検出システムを構成することができました。

本システムとき電ケーブルを用いて模擬地絡試験を行いました。塩水を噴霧し、穴状の傷をつけたき電ケーブルに電圧を徐々に加圧し、発信部の動作状況の確認を行ったところ、通常のき

電電圧である1500Vに至る前(330V)に発信部が動作し、本システムが有用であることがわかりました。

におい物質を利用した電気火災検知

次に、におい物質を利用した電気火災検知手法について紹介します。

火災を発見する情報源

人が火災を発見する情報源にはさまざまなものがありますが、代表例としては視覚(炎や煙を見る)、温覚(熱さを感じる)、聴覚(バチバチという燃焼音を聞く)、嗅覚(焦げ臭いと感じる)があります。このうち、三つ目までは実際に燃焼が始まった時点で得られることが多い情報ですが、最後の嗅覚については、燃焼が始まる前の段階で得られる場合があります。

過熱異常とにおいの関係

では燃焼が始まる前の段階ではどのような現象が起きているのでしょうか。一般に、電気機器が過電流などで過熱すると、熱源である導体から周囲の絶縁体などへ徐々に温度が伝搬していきます。

図5に電気機器の構成部材の一つであるプリント基板を一定の温度で加熱

した際の試験結果を示します。プリント基板は、100℃と150℃では外観上の異常は見られません。一方200℃を超過すると焼損がみられることが分かります。ところが、外観上は問題ないように見える150℃のサンプルですが、実際には異臭が出始めていました。

このことから、劣化事象は焼損温度である200℃より前の段階から始まっており、150℃程度に至った時点で発生したにおい物質を検知することができれば焼損などの重大な被害への拡大を防ぐことができます。

一方、一般の電気設備では正常負荷状態での発熱は許容しており、例えばき電ケーブルなどでは導体許容温度を90℃に設定することがあります。この場合、におい物質を過熱異常検知に利用するためには90℃以下の温度では異臭が発生しにくい物質であることが必要です。

におい物質の特徴

では、電気機器が過熱されると具体的にはどのようなにおい物質が放出されているのでしょうか。先程のプリント基板、及びき電ケーブルのビニルシース部分を50℃から150℃までの一定の温度で加熱し、放出されたにおい

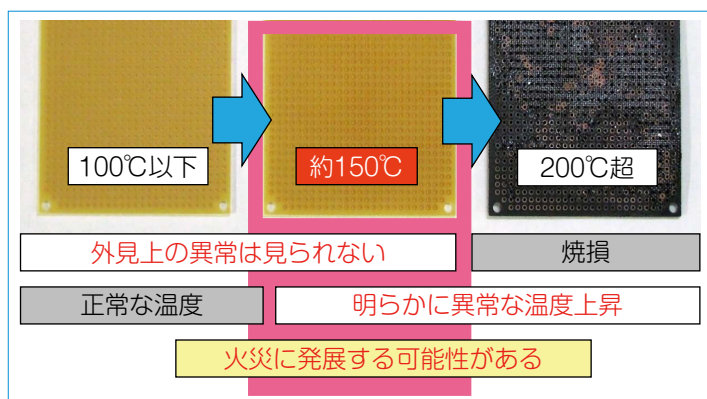


図5 プリント基板の炭化試験



図6 ケーブル過熱検出装置

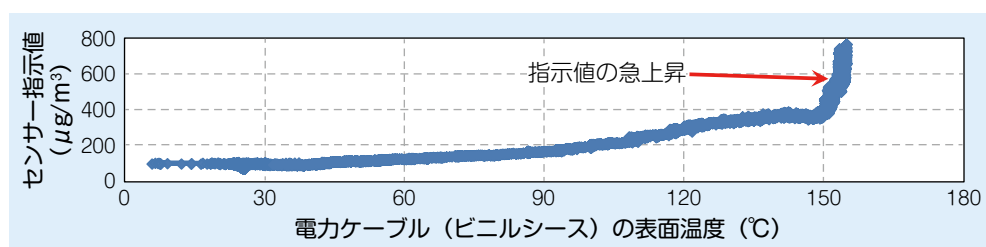


図7 ケーブル過熱検出装置を用いた電力ケーブルの過熱検出試験

物質についてガスクロマトグラフ装置を用いて分析しました⁴⁾。

その結果、加熱により特徴的に放出される物質は、材料の熱分解により発生するガスではなく、材料に混合されている可塑剤や溶剤など（例えばプリント基板ではN,N-ジメチルホルムアミド、ビニルシース部分では1-ドデカノールなど）である可能性が高いことがわかりました。また、加熱温度が100°Cを超えると放出量が急激に大きくなる特徴がありました。

可塑剤は、ビニルシース部分に混和することによりケーブルの柔軟性や耐久性を持たせる重要な物質で、ビニルシース部分の約2割の重量を占めています。このため、過熱異常の検知に安定して利用できると考えられます。

ケーブル過熱検出装置

先に挙げたにおい物質はVOC（揮発性有機化合物：Volatile organic compounds）と呼ばれるにおい物質の

一種で、これらに対応するセンサーであれば簡易に検知可能であると考えられました。そこで半導体式ガスセンサーでにおい物質を検知するケーブル過熱検出装置を製作しました（図6）。空気中に含まれるにおい物質を自然対流により検知する方式であり、シックハウス対策として普及している低濃度用センサーヘッドを活用しています。

所内でき電ケーブルを過熱する検証試験を行った結果、ケーブル表面の温度が145°Cを超えると温度変化に対するデータ処理部指示値の上昇度合が急激に大きくなることが確認できました（図7）。これは、ケーブル表面から放出されるにおい物質をガスセンサーにて有効に検知していることを示していると考えられます。

おわりに

本稿では、電気鉄道用変電所のセンサー技術について述べるとともに、変

電所の異常を検知する最近の研究成果を紹介しました。今回開発した成果は、長期耐久性やセンサー自体の健全性確認手法の開発などでまだ一考の余地はありますが、き電システム信頼性向上の一助になるものと考えております。また、鉄道総研では今後もより低コストで高精度な異常検知技術の開発を行っていく予定です。RRR

文献

- 1) 鉄道電化協会：電気鉄道技術発達史、1983
- 2) 金子力、大雲響生：鉄道事業者における変電設備保守の取り組み状況について、電気学会全国大会シンポジウムS18-4、pp.14-17、2009
- 3) 重枝、他：直流き電ケーブルの地絡検出手法、鉄道総研報告、Vol.25、No.4、pp.5-10、2011
- 4) 潮木、他：におい物質を利用した変電所における電気火災検知の基礎的検討、鉄道総研報告、Vol.27、No.3、pp.27-32、2013