

におい物質を利用した電気火災検知の基礎的検討

人間科学研究部 生物工学研究室
主任研究員 潮木知良

1. はじめに

変電所における電気火災を早期に検知するため、電流値監視やサーモラベルの利用など、様々な対策がこれまでに講じられてきた。しかし、火災の原因は多様であり、これらの対策に加え、さらに多角的な見地から対策を検討する必要がある。

その1つの方法として、においの利用が考えられる。においは、人間が火災を発見する情報源のうち、視覚による炎や煙の発見に次いで多いといわれている¹⁾。においから得られる情報では、異変が明らかに火災によるものであると判断することや、火災が発生した場所を特定することは難しいが、外見上の異常より早い段階で感知することができる場合があり、火災の兆候を早期に把握する手段として利用できる可能性がある。電気火災におけるにおいの発生は、ケーブルの被覆材(シース)や絶縁体等から何らかの揮発性物質が放出されていることを示している。そこで、この揮発性物質を検知対象とした電気火災の検知について基礎的検討を行った。今回は、ケーブルシースや絶縁体等を加熱したときに放出される揮発性物質の種類と、揮発性物質の放出と加熱温度との関係について調べた結果を報告する。

2. 過熱異常とにおいの関係

電気火災の主な原因として過熱異常があげられる。過熱異常とは、過電流による過剰な負荷、絶縁体の経年劣化、接続箇所の施工不良等により、ケーブル等の導体が異常に発熱するものである。このとき、シースや絶縁体等にも熱が伝わることによって、変質や焼損を引き起こし、異臭が発生する。

図1は、プリント基板を徐々に加熱し、最終的に焼損させたものである。その結果、200℃を超えると表面に膨張などの変状が現れ始め、やがて発煙を伴って焼損した。このとき、異臭は外見上の変化がまだ見られない150℃程度で感じられた。これは、異臭が焼損より早い段階で発生していることを示している。従って、異臭を検知することができれば、過熱異常が発生した場合でも、焼損等の重大な被害への拡大を防ぐことができる可能性がある。ただし、電気設備では、正常負荷状態でも発熱があり、電力ケーブル(CVケーブル)の場合、導体許容温度は一般に90℃である。そのため、異臭を検知に利用するためには、100℃以下では検知されないにおいであることも必要である。

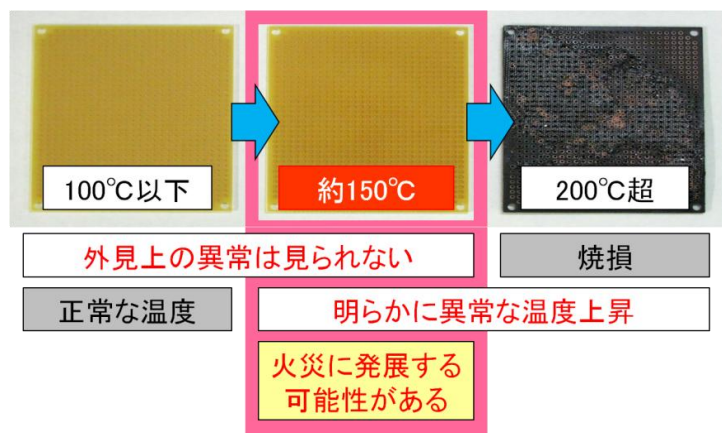


図1 プリント基板の焼損実験

3. 試験片を用いた加熱実験

3. 1 過熱異常時に放出される揮発性物質

過熱異常時に発生する異臭の原因となる揮発性物質の種類を調べるため、ケーブルシース、絶縁体、プリント基板等、6種類の試験片を加熱し、このとき放出された揮発性物質を分析した。実験は、図2に示す装置で行った。まず、試験片(図3)をホットプレート上に設置して150℃で加熱し、試験片から放出される揮発性物質をチャンバー内に充満させた。次に、チャンバー内に充満した揮発性物質をSPME(固相マイクロ抽出)法で採取し、GCMS(ガスクロマトグラフィー質量分析)装置で分析した。

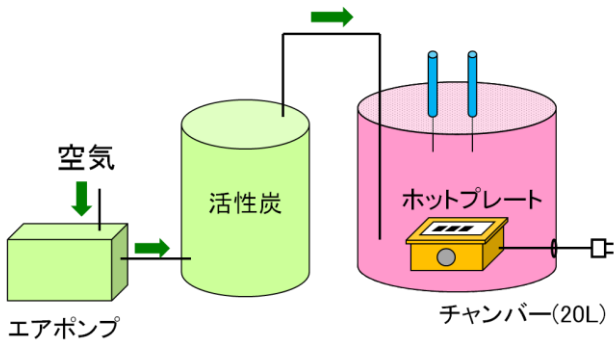


図2 加熱実験装置

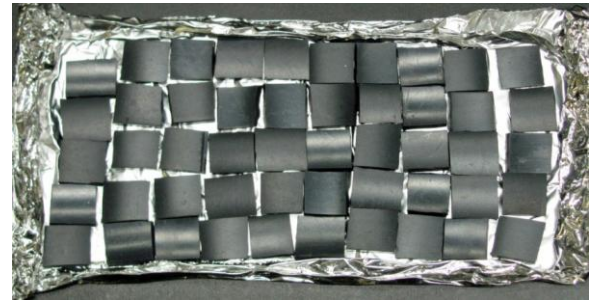
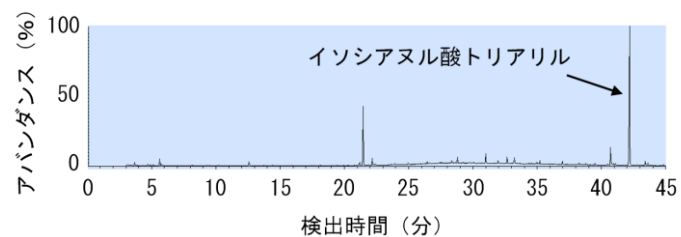
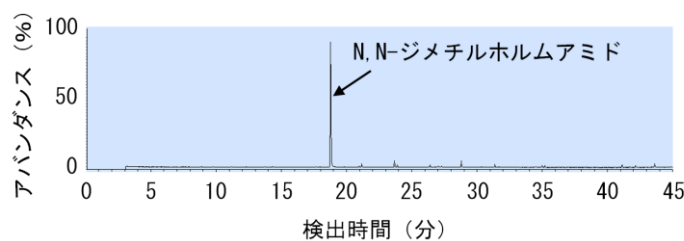


図3 試験片の例

分析の結果、図4に示すとおり、試験片ごとに異なる1~2種類の特徴的な揮発性物質が検出された。これらの特徴的な揮発性物質について調べたところ、ケーブルシースや絶縁体等の部材そのもの(基材)から熱分解等によって発生したものではなく、可塑剤や架橋助剤など、基材に混合されている成分である可能性が高いことがわかった。なお、加熱後の試験片を観察したところ、一部の試験片で若干溶けたような形跡が見られたが、他の試験片では加熱前後で変化は見られなかった。



(試験片: CV ケーブル端末)



(試験片: プリント基板)

図4 分析結果の一例(ガスクロマトグラム)

3. 2 揮発性物質の放出と温度の関係

次に、各試験片から特徴的に放出された揮発性物質について、加熱する温度と放出の関係を調べた。各試験片を 50, 100, 125, 150℃で加熱し、それぞれの加熱温度において、揮発性物質の分析 (GCMS) で得られたガスクロマトグラムのピークを積分したもの (ピーク面積) を相対比較した。その結果、図 5 に示すように、各試験片とも、加熱温度が 100℃を超えると急激に放出される傾向が見られた。

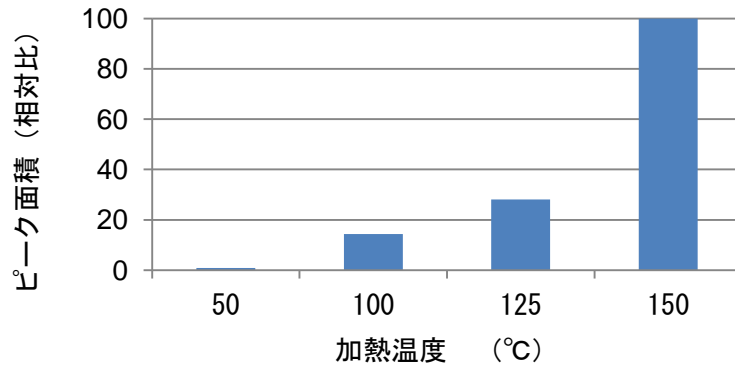


図 5 特徴的に放出された揮発性物質の加熱温度と放出の関係の一例
(試験片：CV ケーブル端末，対象物質：イソシアヌル酸トリアリル)

3. 3 まとめ

以上の結果から、ケーブルシースや絶縁体等を 100～150℃で加熱することにより放出される特徴的な揮発性物質は、材料に混合されている可塑剤等である可能性が高いことがわかった。可塑剤は、基材に混合することにより柔軟性などの物理的性質や耐久性を持たせる重要な成分であることから、基材中に豊富に含まれ²⁾、かつ経年による減少も 11 年で 2%程度³⁾と少ないことから、過熱異常の検知対象として安定して利用できると考えられる。また、ケーブルシースや絶縁体等の種類によって放出される揮発性物質が異なっていたことから、特定の揮発性物質を特異的に検出することができれば、過熱異常を起こしている要因を特定できる可能性がある。

これらの揮発性物質が 100℃以上に加熱したときに急激に放出される原因は、基材が熱によって柔らかくなり始める温度 (軟化温度) に関係していると推測される。基材の軟化は、基材を構成する分子が熱によって激しく振動し、分子間の結合が緩む現象である。そのため、基材の内部に混合されている可塑剤等の成分が揮発しやすくなったと考えられる (図 6)。また、基材の軟化温度は、正常負荷状態である約 90℃より高くなければならず、例えば、ケーブルシースの基材に一般的に使用されている塩化ビニルの軟化温度は約 120℃である。そのため、100～150℃に加熱したときに可塑剤等の放出が急激に増加したと考えられる。

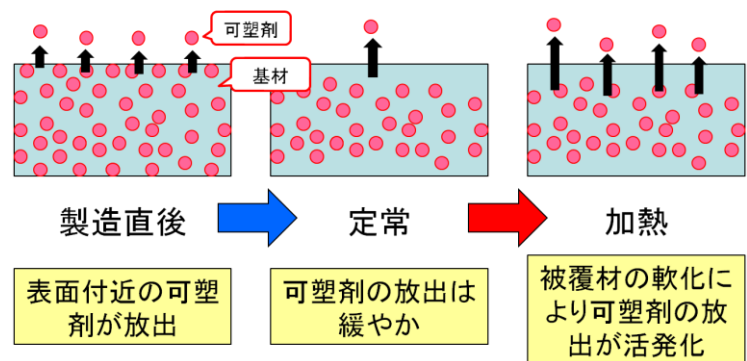


図 6 可塑剤の放出 (推定)

4. ガスセンサによる常時監視の検討

実際の変電所において、揮発性物質を過熱異常の検知に利用するためには、検知情報を電気信号に変換し、常時監視を行うことが必要である。揮発性物質の検知を電気信号に変換する方法では、一般的に半導体式ガスセンサが利用されており、リアルタイムでの計測が可能であることから異常の発生を即時に検知することができる。そこで、汎用のガスセンサを用いて、過熱異常時にケーブルから放出される揮発性物質を検知することが可能であるか否かを検証した。

実験では、図7に示す配電盤を模擬した試験装置にCVケーブル(AC6,600V)を設置し、ケーブルに定格の約3倍にあたる450Aの電流を流して発熱させた。このとき、天井の開口部に取り付けた汎用のガスセンサで、過熱したケーブルから放出された揮発性物質の検出を試みた。

その結果、検知範囲が比較的低濃度のガスセンサを用いた場合に、図8に示すようにケーブルの表面温度の上昇とともに指示値が上昇し、さらに、ケーブル表面が100℃を超えると温度変化に対する指示値の上昇が大きくなった。この結果から、ケーブルの過熱異常をガスセンサで検知することは可能であると考えた。

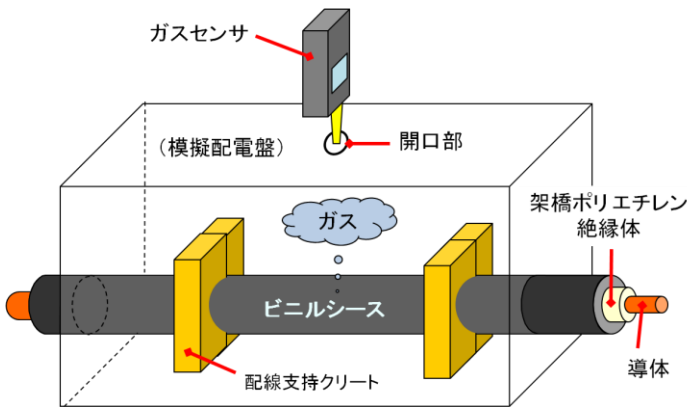


図7 配電盤を模擬した試験装置

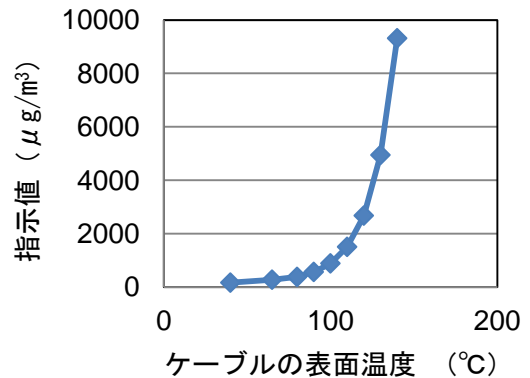


図8 ケーブル表面温度と
ガスセンサの指示値の関係

5. おわりに

ケーブルなどの過熱異常時に発生する異臭の原因は、ケーブルシースなどに含まれる可塑剤などの揮発性物質である可能性が高く、火災に至る温度より低い100~150℃で特徴的に放出されることがわかった。また、これらの放出された揮発性物質は、検知範囲が比較的低濃度の汎用のガスセンサによって検知できることを確認した。これにより、揮発性物質を検知することで電気火災の兆候を早期に把握できる可能性があると考えられる。ただし、実際の変電所では、床材や塗料などから多様な揮発性物質が日常的に放出されていることや、立地によっては近隣の工場など外部から揮発性物質が流入することを考慮しなければならない。そのため、信頼性の高い検知方法を確立するためには、こうした環境の中で、明らかに過熱異常によるものを選択的に検知することが今後の課題である。

参考文献

- 1) 能美隆：火災とニオイ，火災，Vol. 58，No. 5，pp. 19-24，2008
- 2) 調子康雄：可塑剤の適材適所，油化学，Vol. 33，No. 7，pp. 411-419，1984
- 3) 重枝秀紀，赤木雅陽，森本大観：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