

紫外線で離線を測る

根津 一嘉

電力技術研究部
(集電管理 副主任研究員)

早坂 高雅

同
(電車線構造 副主任研究員)

臼田 隆之

鉄道力学研究部
(集電力学 副主任研究員)



ねづ かずよし



はやさか たかまさ



うすだ たかゆき

はじめに

電車は図1のように、線路の上に張られた架線にパンタグラフを押し当て、そこから取り入れた電力でモータを回して走ります。したがって、パンタグラフは家電製品でいうとコンセントプラグに相当し、ここから電力が取り入れられないと、車両は走ることができません。

パンタグラフは主に、ばねの力で架線に押し当てています。しかし走行中では、架線に凹凸があったり、パンタグラフが風を切ることで空気が作用したりすると、パンタ



図1 架線とパンタグラフ



図2 離線時のアーク放電

タグラフが架線から離れてしまうことがあります。これが「離線」と呼ばれる状態です。

ここでは、列車が走行中にどの程度の離線が発生しているか、紫外線(Ultraviolet rays: UV)を検出することでモニタリングする方法を紹介します。

離線測定の必要性

家電製品のコンセントプラグを引き抜いたとき、パチッと火花が飛ぶことがあります。これは、これまでつながっていた電気回路を切り離れたときに、一時的に空気中を電気が流れる放電が発生したためです。架線とパンタグラフの間でも同じで、離線が発生すると、架線とパンタグラフの間に図2のようなアーク放電が発生します。

ところで、アーク放電にともない、強い光、大きな音と電波雑音が発生します。これは鉄道の沿線に公害をもたらす原因となります。また、アークの内部は数千度～数万度という極めて高い温度になります。このため、架線とパンタグラフのうち、互いに直接こすれあう「トロリ線」と「すり板」が高温で蒸発したり、摩耗が早められたりする原因となります。さらに、離線の多発は、架線とパンタグラフの間が接触不良ということですから、車両への電力の供給が不安定になり、列車の運行に影響が生じる場合もあります。

このため離線の発生はなるべく少ない方がよいのですが、その対策や評価のため、現状でどの程度の離線が発生しているかモニタリングをすることが必要になります。例えば新型車両を導入したり、新線開業したり、あるいはこれまでよりスピードアップをするような場合、試運転列車で離線測定をして、架線やパンタグラフの性能を確認します。

離線の測り方

離線は高い電圧がかかっている場所で発生する、ごく短時間の現象のため、測定が難しいのですが、これまでに様々

表1 従来の離線測定方法と使用条件

| 離線測定方法 | | 電流式 | 光学式 | 分圧式 |
|--------|---------|----------|------|----------|
| 検出装置 | | クランプ式電流計 | 光センサ | 分圧器(抵抗器) |
| 鉄道方式 | 新幹線(交流) | ○ | ○ | × |
| | 在来線(直流) | ○ | ○ | ○ |
| | 在来線(交流) | × | ○ | × |
| パンタ | 集電(母線有) | ○ | ○ | × |
| | 集電(母線無) | × | ○ | △ ※1 |
| | 無集電 | × | × | ○ |
| ノッチ | 力行・回生 | ○ | ○ | ○ |
| | だ行 | × | ○ | ○ |
| 昼夜 | 昼 | ○ | × | ○ |
| | 夜・トンネル | ○ | ○ | ○ |

※1: 測定できるが精度が低くなる

な測定方法が開発されてきました。

電流式離線測定

離線している間、そのパンタグラフを流れる電流が0になることを測定します。測定するパンタグラフが、他のパンタグラフと電線(母線と言います)で接続されている場合のみ測定可能です。また、列車がノッチオフすると測定できません。

光学式離線測定

離線したときに発生するアークの光を、光センサで測定します。日中は空の明るさが邪魔になり測定できません。また、夜間でも駅や踏切の照明があると、正確な測定ができなくなります。

分圧式離線測定

パンタグラフの電圧を分圧器により測定します。この電圧は通常、架線電圧と一緒にですが、離線すると電圧が低下するので、それを検出します。直流区間のみで使われる方法で、基本的には測定するパンタグラフを主回路から切り離す(無集電にする)必要があります。

よく使われる測定方法は以上の3つですが、いずれも測定可能な条件に制約があります。これを表1にまとめます。

紫外線による離線測定の原理

離線の測定方法について、日本ではまだ規格がありません。しかしヨーロッパではEN規格(EN50317:2002)において、検出する光の波長が、次の要件を満たす光学式離線測定を行うことが規定されています。

- ・ 220~225nmまたは323~329nmを検出すること。
- ・ 波長が330nm以上の光を検出しないこと。

一般に波長が400nm以下の光を紫外線と呼び、目に見えない光となります。つまりEN規格では、紫外線のみを

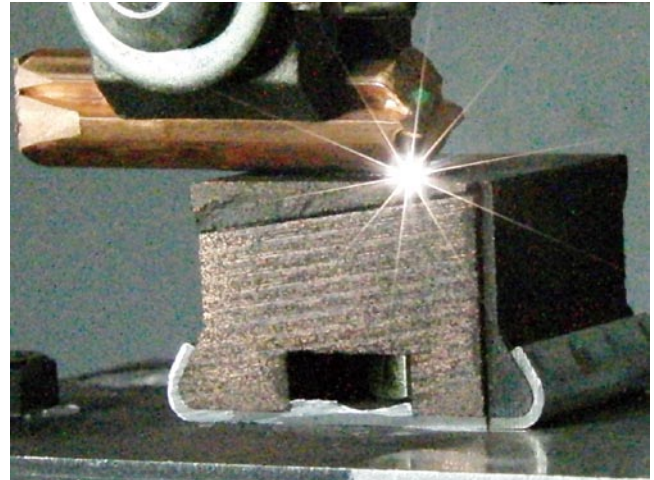


図3 トロリ線片とすり板片間のアーク光

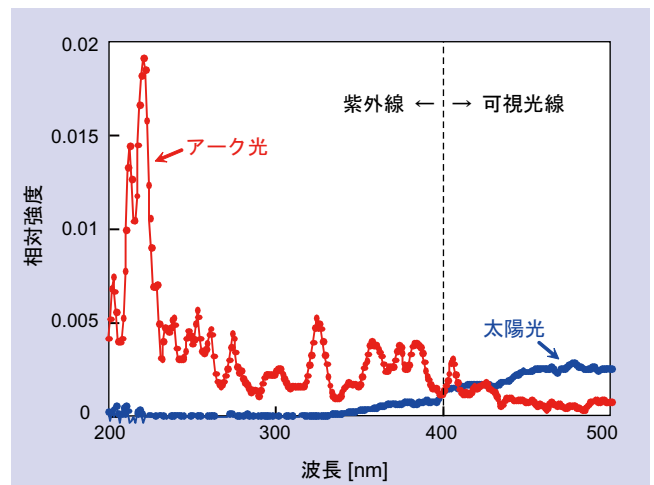


図4 離線アーク光と太陽光のスペクトル

検出し、可視光線を検出しない光学式離線測定が規定されています。

そこで図3のように、トロリ線とすり板の間に実験的にアークを発生させ、そのアーク光に含まれる波長を分析しました。結果を図4に示します。ここで示したデータは、一般的な純銅製の硬銅トロリ線と、新幹線用の鉄を主成分とする焼結合金すり板の組み合わせですが、在来線用のすり板材料でも同じ傾向のデータが得られています。また、図4では太陽光に含まれる波長も示しています。

この結果、アーク光は200~240nmの波長が強いのですが、太陽光には300nm以下の波長がほとんど含まれていないことがわかりました。そこで、波長が300nm以下の紫外線のみを検出する測定器を作れば、太陽光の影響を受けず、昼間でもアーク光のみを正確に検出できることがわかりました。これにより表1の光学式で、昼夜とも「○」にすることができ、車両やノッチ・昼夜の条件を問わない離線測定が可能となりました。

紫外線を検出するUV 離線測定装置の構成

従来の光学式離線測定装置

はじめに図5は、従来から用いている、光ファイバを用いた光学式離線測定装置の概要です。光ファイバの先端を車両の屋根上でパンタグラフに向けて取り付け、捕らえられたアーク光は光ファイバを通して車内の検出器に導かれます。

ただし、通常用いられるレンズやプラスチック製の光ファイバは紫外線を通さないため、可視光線しか検出することができません。紫外線を透過する石英ガラス製のもの

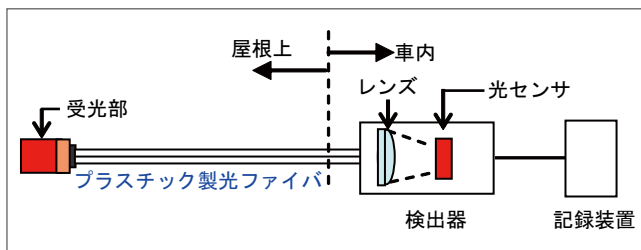


図5 従来の光学式離線測定装置の概要

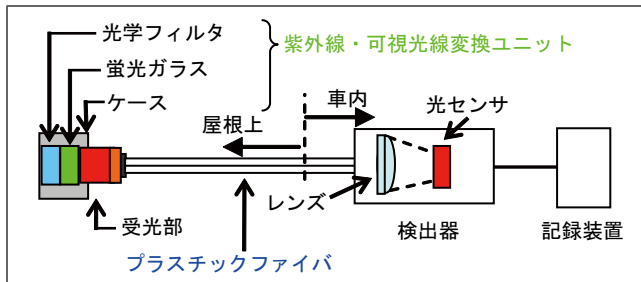


図6 紫外線・可視光線変換タイプの概要

を用いれば紫外線の検出も可能になりますが、非常に高価になってしまいます。

紫外線・可視光線変換タイプUV 離線測定装置

可視光線をカットするフィルタ（干渉フィルタ）と、紫外線を可視光線に変換するフィルタ（蛍光ガラス）を組み合わせた、紫外線・可視光線変換ユニットを、従来の光学式離線測定装置の受光部に取り付けたものです。概要を図6に示します。

太陽光は光学フィルタでカットされ、アーク光のみが蛍光ガラスで可視光線に変換されます。そして、可視光線に変換されたアーク光はプラスチック製光ファイバを透過することができます。検出器ではアーク光のみを検出できます。

図7は車両の屋根上に紫外線・可視光線変換タイプの光ファイバを取り付けた状況です。なお、通常ガラスは紫外線を透過しないため、受光部はガラス越しではなく、直接パンタグラフを望める場所に取り付けなければなりません。

センサモジュールタイプUV 離線測定装置

図8はセンサモジュールタイプの概要です。屋根上に紫

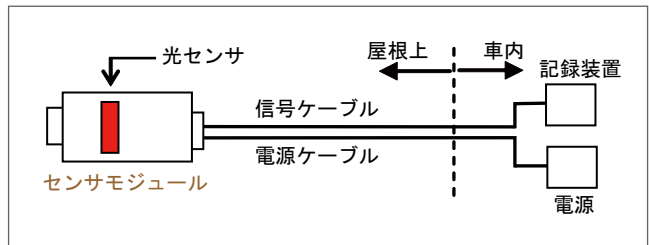


図8 センサモジュールタイプの概要



図7 紫外線・可視光線変換タイプの仮設状況

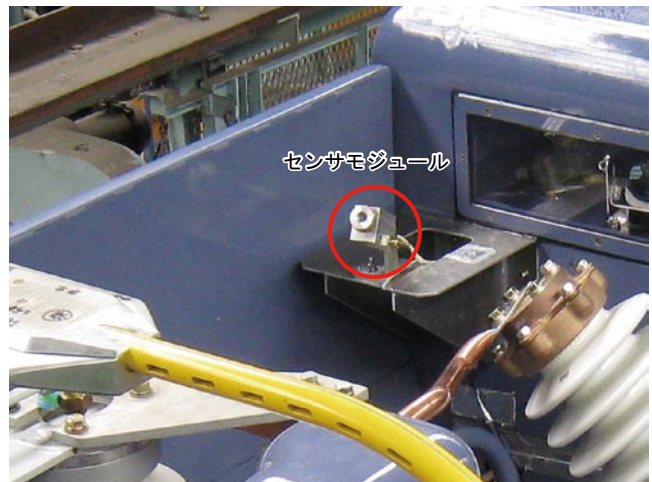


図9 センサモジュールタイプの仮設状況

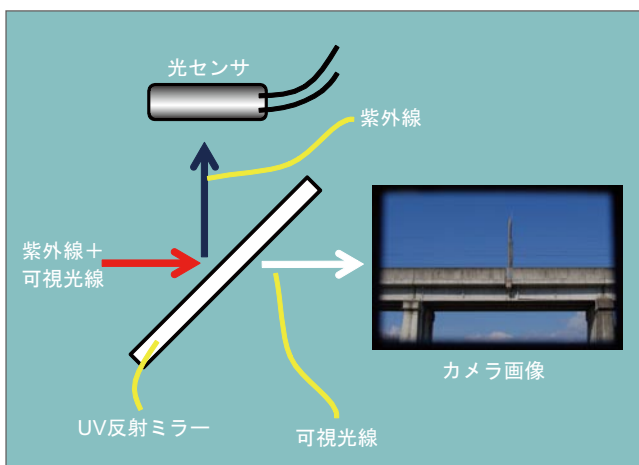


図10 地上用UV離線測定装置の原理



図11 地上用UV離線測定装置の測定状況

外線のみ反応する、小型の光センサモジュールを置き、車内の記録装置まで信号ケーブルを伸ばします。屋根上から車内まで伸ばすが、光ファイバではなく信号ケーブルですので、コストが安くなります。また、もともと可視光線には反応しないセンサですので、紫外線をカットする光学フィルタが不要です。

車両への取り付け状況を図9に示します。今回はコストダウンのため、センサモジュールは既製品を使ったのですが、もう少し紫外線の感度が高く、太陽光をカットできるものが望ましいことがわかりました。

地上用UV離線測定装置の開発

これまでに紹介してきた離線測定装置は全て、車両に取り付けることにより、その取り付けられた編成のパンタグラフの離線状況を測定することができるものです。走行速度や架線の種類が変わっても測定ができますが、一方で、離線測定装置を取り付けた編成しか離線測定ができないという問題があります。

そこで、地上側に紫外線のセンサを置けば、ある区間を通過する全てのパンタグラフのアーカ光を検出できるのではないかと考えたのが、地上用UV離線測定装置です。その測定原理を図10、実際の測定状況を図11に示します。

図10で、アーカ光(紫外線)は外の光(可視光線)と共に

UV反射ミラーに達します。このUV反射ミラーは、紫外線は反射するが可視光線は透過する性質を持ちます。このため、アーカ光の紫外線のみが反射して光センサに入ります。一方、可視光線はUV反射ミラーを透過して、デジタルカメラに入ります。このデジタルカメラの画像は、離線測定装置の測定範囲を確認するのに使います。

測定の結果、昼間であってもアーカ光のみを正確に捕らえることができ、高い感度で離線測定が可能であることが確認できました。

おわりに

紫外線を検出することで、離線の発生状況をモニタリングする方法について、その背景と原理を含めて紹介しました。従来の可視光線を検出する光学式離線測定装置と比較して、この方法が威力を発揮するのは昼間の測定です。しかし、夜間の測定でも駅照明や踏切照明の影響を受けないため、従来以上に高精度な離線測定が可能であることがわかりました。

将来的にはコストダウンと耐久性の向上を進めれば、全てのパンタグラフで常時、離線測定を行うことも可能になると思われます。地上用の測定装置とあわせ、今後はデータの評価方法についての研究も深め、架線とパンタグラフのメンテナンスに生かしていきたいと考えています。RRR