

# 紫外線検出式の地上離線測定装置の開発

白田 隆之\* 池田 充\*

Equipment for Contact Loss Measurement by Detecting UV Ray

Takayuki USUDA Mitsuru IKEDA

Contact loss has been one of the most important indexes in evaluating performance of catenary system. Several measurement methods in detecting the contact loss have been developed. The authors have developed the first contact loss measurement equipment which detects UV ray emitted from an arcing at the wayside. Using this measurement equipment, arcing can be detected even in the daytime. In this paper, details of this measurement equipment and some experimental results are reported.

キーワード：アーク，紫外線，離線，パンタグラフ，トロリ線，架線

## 1. はじめに

架線・パンタグラフ間に発生する離線アークは、その頻度が高すぎると集電電流の品質低下やトロリ線、パンタグラフすり板などへの悪影響が懸念されるため、架線・パンタグラフ系の各種試験時には、離線測定を合わせて実施することが一般的である。離線測定器には車上で測定する方法（以下、車上型とする）と地上で測定する方法（以下、地上型とする）とがあり、車上型の離線測定法にはパンタグラフの電圧、電流やアーク光などを測定して離線を検出する数種類の方法がある。一方、地上型の離線測定法にはアーク光を測定して離線を検出する方法しかなく、従来のアーク光の検出方法では可視光を測定するため、日中は太陽光に対するS/N比が小さく、アークの検出ができないという問題点があった。

ところで、離線アークに含まれる光のスペクトルは紫外線から可視光線の波長まで広い範囲で複数のピークを持つ。陽極と陰極の材質によって異なるが、日本国内の一般的なすり板とトロリ線の組合せにおいて発生する離線アークのスペクトルのピークの一つは波長 200～234nm 付近にある<sup>1)</sup>。そこで、この特性に着目し、特定の波長の紫外線領域にのみ感度を持つアーク光の検出器を用いることによって、日中においても太陽光に対し高いS/N比で離線アークの測定が可能となる。また、ヨーロッパでは車上型の離線測定時には以前から紫外光を測定する方法が一般的であり、欧州電気標準化委員会が欧州規格EN50317において、光学式の離線測定を行う際には波長 220～225nm もしくは 323～329nm の紫外線に対して感度を持ち、波長 330nm 以上の可視光線には感度

を持たない機器で測定を行うよう規定している。

このような離線アーク光の特性を利用して、国内においても紫外線を検出する方式の車上型の離線測定器が開発され、現車試験で既に使用されている。

一方、紫外線検出方式の地上型の離線測定器は、過去に報告の例を見ない。そこで本論文では鉄道総研において開発した紫外線検出式地上離線測定装置について現地測定データも交えて報告する。

## 2. 紫外線検出式地上離線測定装置

### 2.1 測定器概要

本測定器は線路から垂直方向に60m前後離れた箇所からパンタグラフの離線アークを測定する測定器である。測定可能画角は水平方向 $\pm 26^\circ$ であるが、画角端部はゲインが低下するため、有効画角は $\pm 20^\circ$ （60m離れで水平方向43m）としている。

### 2.2 測定原理

2.1節に示したように本測定器は離線アークの光源から離れて測定を行う。一般的に点光源の距離減衰は測定距離の2乗に反比例するため、光源から数mの距離で離線アークを測定する車上離線測定装置に対して、地上離線測定装置では離線アークの測定感度を上げる必要がある。そのため、本測定器の受感部にはフォトダイオードなどよりも感度の高い光電子増倍管（浜松ホトニクス製、R7154、感度波長160～320nm）を使用し、さらに受感部手前でレンズにより集光する機構とした。光電子増倍管にアーク光に含まれる紫外線だけを導く方法として最も容易な方法は光学フィルタを用いる方法であるが、測定器への入射角度による感度依存性を抑える必要

\* 鉄道力学研究部（集電力学）

特集：鉄道力学

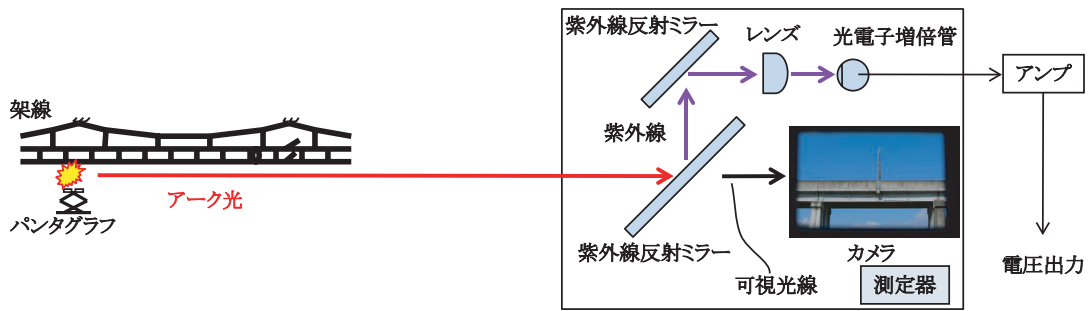


図1 紫外線検出式地上離線測定装置概念図

があるため、角度依存性が光学フィルタよりも低い誘電多層膜を用いた紫外線反射ミラーによる方法を採用した。図1に本測定器の測定原理図を示す。アーク光は測定器に入ると紫外線反射ミラーにより可視光線と紫外線とに分離される。紫外線は紫外線反射ミラーを経由した後、紫外線を透過する合成石英のレンズで集光され、光電子増倍管に入射し、電圧変換される。一方、可視光線は紫外線反射ミラーを透過し、画角確認用のカメラに入射する。このカメラにより計測中にも画角確認が可能であることも紫外線反射ミラーを用いる利点である。

2.3 紫外線反射ミラーの特性

本測定器で使用している紫外線反射ミラーは誘電体多層膜によるミラーである。開発にあたり、Type 1とType 2の2種類のミラーを使用して機能を確認した。2種類の紫外線反射ミラーの特性の計算値と実測値をそれぞれ図2と図3に示す。なお、本図縦軸の反射率は入射角（ミラー面の垂直方向に対する角度）が45°の場合の入射光に対する反射光のパワーの比である。

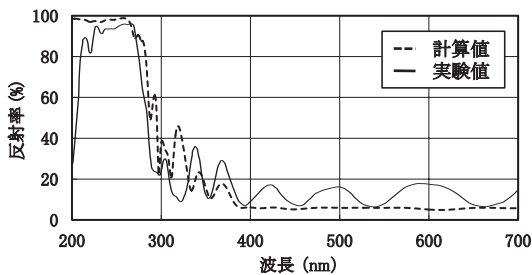


図2 紫外線反射ミラーの反射特性 (Type 1)

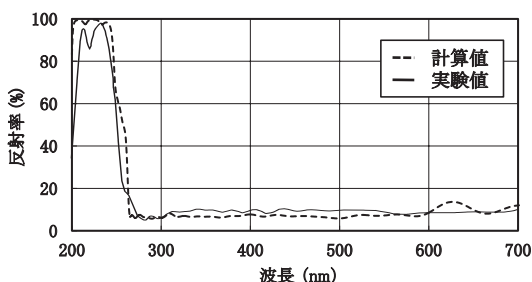


図3 紫外線反射ミラーの反射特性 (Type 2)

Type 1のミラーは太陽光に含まれず離線アークにのみ含まれる波長を比較的広く測定できるように、反射波長帯を210～280nmとして設計を行った。また、図1では紫外線反射ミラーは2枚組み込まれているが、Type 1のミラーでの試験時は紫外線反射ミラーは1枚で、図中の2枚目のミラーの設置位置にレンズと光電子増倍管を設置した。

Type 2のミラーは300nm以上の波長域でのサイドロープの影響を低減するため、反射波長帯域を210～250nmに狭めた。その結果、Type 1のミラーの場合と比較して、サイドロープの少ないカットオフ特性を実現できた。さらに太陽光に対する紫外線のS/N比を上げるため、図1に示すようにミラーを2枚使用した。

2.4 太陽光の影響確認試験

上記2種類の紫外線反射ミラーを使用した測定器を使用して、新幹線の沿線での離線アーク測定試験を日中に行った。Type 1のミラーを使用して、10月の晴天日の正午付近に新幹線の高架から50m離れた箇所から離線アーク測定を行った結果を図4に示す。上段が2kHzでA/D変換した元波形であり、下段は上段の結果に10Hzのハイパス (HP) フィルタを適用した結果である。本結果から、太陽光の影響により、0.5V程度の直流分が観測されていることがわかる。この直流分はHPフィルタの適用により除去できるが、5秒近辺 (図4中のa点) で発生している小さい離線アークなどではS/N比が十分とはいえない。本現象は300nm以上の波長領域において、紫外線反射ミラーのサイドロープにより十分に太陽光の影響を低減できていないため発生しているものである。

図5はType 2の紫外線反射ミラーを使用して、6月の晴天日の正午、夕方、夜間にそれぞれ高架から60m離れた同一箇所から離線アーク測定 (図6)を行った結果である。ただし、図4のデータとは測定場所は異なる。図5 (正午)と図4を比較して明らかなようにType 2を用いれば、太陽光の影響をほとんど受けずに測定が可能である。これはType 2の紫外線反射ミラーのサイドロープがType 1に対して改善されているためと、紫外線反射ミラーを2枚用いていることによる効果と考えられるが、

どちらがより効果的であったのかは今後検討が必要な課題である。なお本節での検討結果より、Type 2のミラーでの構成の方が実用的であったため、以降はType 2のミラーでの測定データについて示す。

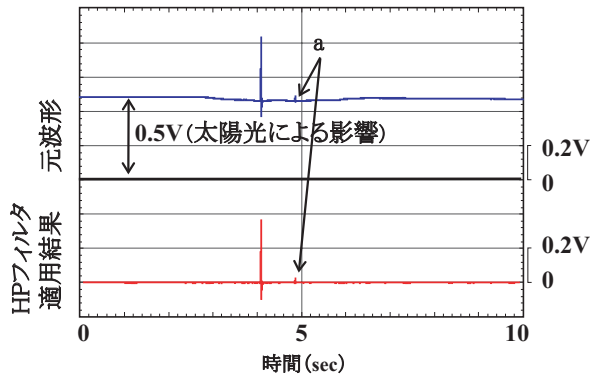


図4 太陽光の影響確認 (Type 1) : 正午

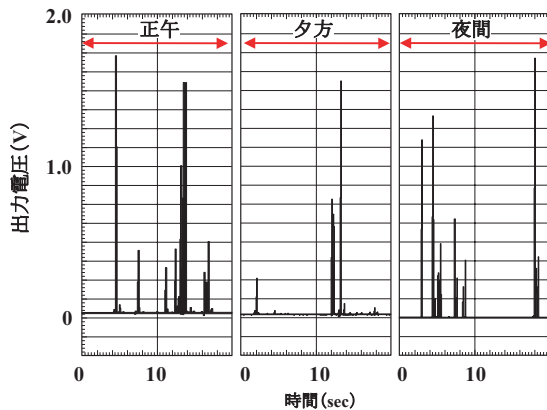


図5 太陽光の影響確認 (Type 2)



図6 現地測定の様子

### 2.5 画角感度特性確認試験

測定器の設置角度が感度に与える影響の確認を行った。図7に示すような配置で測定器と紫外線光源を設置し、測定器と光源間の距離を変えずに測定器を回していき、水平角度 $\theta$ と測定電圧との関係を測定した。測定器と光源間の距離Lは3mとした。本試験に使用した光源の仕様を以下に示す。

光源	重水素ランプ
型番	L10290 (浜松ホトニクス製)
放射波長範囲	200 ~ 400nm

以上の条件で測定を行った結果を図8に示す。本結果から、測定器に入射する角度がゲインに影響を与えることがわかる。本原因は光電子増倍管手前で単玉レンズによって集光しているために収差が大きくなっているためと推測されるが、紫外線を透過する合成石英レンズは高価であるため、収差の少ない複雑な光学系を構成するのは現実的でない判断した。また、 $\pm 20^\circ$ の範囲内では0.65~0.9V程度に収まるため、この画角範囲であれば本器でも実用に耐えうると判断した。

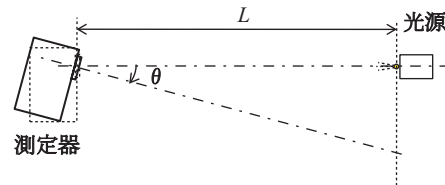


図7 画角感度特性確認試験

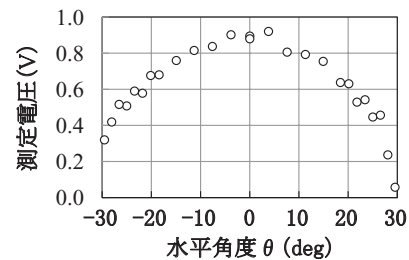


図8 画角感度特性 (水平方向)

## 3. 現地試験結果

### 3.1 従来の測定器との比較結果

従来の可視光式離線測定器と今回開発した紫外線検出式離線測定器 (Type 2) を用い、離線アークの地上測定を夜間に行った結果を図9に示す。両者の測定器はほぼ同一箇所に設置した。

前記のように紫外線検出式離線測定器は離線アーク光のうち波長210~250nmの紫外線に検出感度を有しており、可視光式離線測定器は離線アーク光のうち可視光線領域に検出感度を有している。本結果から、紫外線検出式離線測定器の方がアークを良く検出できていることがわかる。これは早坂らの論文<sup>1)</sup>にもあるようにトロリ線の主成分である銅と新幹線のすり板材料である鉄系焼結合金との間のアーク光スペクトルが200~234nm付近に最も顕著なピークがあるためと推測される。ただし、発生から消弧までの過程でアーク光のスペクトルが変化している可能性もあるため、アークの発光特性については今後検討を行う必要がある。

なお、本測定器は従来の光学式離線測定器と同様に、舟体の影になる箇所での離線アークは検出しにくいという問題点があり、この点には注意が必要である。

特集：鉄道力学

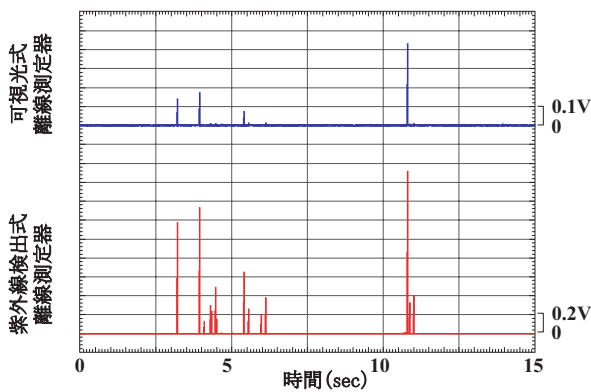


図9 可視光式と紫外線検出式の離線測定器の比較

3.2 トロリ線摩耗との対比結果

本測定器による新幹線営業線での離線アーク測定データとトロリ線摩耗残存径測定データとの対比を行った結果を図10に示す。また、架線に設置したセンサにより通過する約400台のパンタグラフの接触力<sup>2)</sup>を15Hz以下の周波数帯で数日間測定し、各々の場所における平均値を求めた結果も同図に示す。本図の離線アーク発生回数(生データ)は接触力と同様に約400台のパンタグラフ通過時の各々の場所における離線アーク発生回数の合計値であり、離線アーク発生回数(距離軸移動平均)は離線アーク発生回数(生データ)を前後0.5mで移動平均した結果である。また、架線に設置した複数の加速度計の信号を利用してパンタグラフの位置を特定することにより、接触力と離線アークの信号を時間サンプリングから距離サンプリングのデータに変換した。本データから離線アークの発生頻度の高い箇所は平均接触力も低くなっていることが確認できる。平均接触力が低くても離線アークが発生していない箇所があるのは、パンタグラフ

間が高圧母線により電氣的に接続されている効果と考えられる。本データの場合は離線アークが高頻度で発生している箇所の摩耗残存径が小さくなる傾向が見受けられる。

今後は特定箇所において紫外線検出式離線測定と接触力測定の同時計測を継続的に実施するとともに、この箇所におけるトロリ線摩耗進展を継続的に測定し、これらのデータからトロリ線の機械的摩耗と電氣的摩耗の定量化を進めていく予定である。

4. まとめ

本論文では紫外線検出式地上離線測定装置の概要と測定データの紹介を行った。今回検討した中では、波長210～250nmの紫外線を選択的に反射するミラーを2組使用した測定器が直射日光の影響を受けずに離線アークの測定ができることを確認した。本測定器は周辺の明るさの影響を受けないため、地上からの離線アークの測定を効率的に実施することが可能である。

本測定器はトロリ線着霜時の著大アークの検出や、パンタグラフ異常検出のための定点監視にも適用可能である。今後はこれら定点監視の実用化の可能性も探っていきたい。

文献

- 1) 早坂高雅, 清水政利:「離線アークの分光測定結果」, 平成17年電気学会全国大会, No.5-155, pp.216-217, 2005
- 2) 白田隆之, 他3名:「架線の振動測定によるパンタグラフの接触力推定手法」, 鉄道総研報告, No.21, Vol.10, pp.41-46, 2007

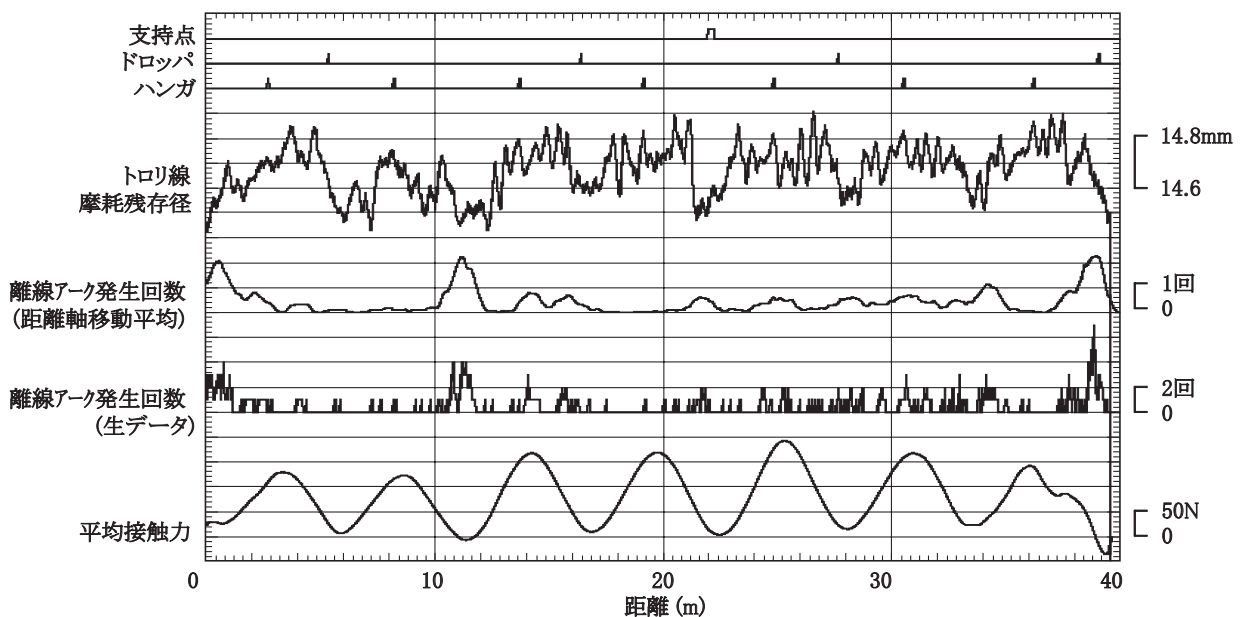


図10 離線アーク頻度とトロリ線摩耗残存径との対比結果