

紫外線検出式地上離線測定装置の開発

〔機〕 〇臼田 隆之 (鉄道総研) 〔機〕 池田 充 (鉄道総研)

寺嶋 充 (山田光学) 岡田 健 (山田光学)

Equipment for Contact Loss Measurement by Detecting UV Ray

〇Takayuki Usuda, Mitsuru Ikeda, (Railway Technical Research Institute)

Mitsuru Terashima, Ken Okada, (Yamada Kogaku Kogyo CO.,LTD.)

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 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，欧州規格

Key Words : Arcing, UV ray, Contact loss, Pantograph, Contact wire, Catenary system, European standard

1. はじめに

架線・パンタグラフ間の離線は集電性能の評価指標の一つであり，離線アーク（図 1）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のが一般的である。離線測定器には車上測定型と地上測定型とがあり，車上測定型の離線測定はパンタグラフの電圧，電流やアーク光などを測定して，離線を検出しており，地上測定型はアーク光を測定して離線を検出している。車上測定型の離線測定は線区全体の状況を把握できる反面，測定器の仮設や運行上の制約がある。一方，地上測定型の離線測定は，測定範囲は数径間程度と限定的になるが，線路外から容易に実施でき，さらに様々な列車の測定ができるため，特定の設備の評価には有効な手法である。しかし，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 200～234nm 付近にある¹⁾。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おり，これは早坂らの検討結果とも良く一致している。

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測定型の離線測定器が開発され²⁾³⁾，現車試験においても使用されている。

一方，紫外線検出方式の地上測定型の離線測定器は，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。



図 1 長時間露光により夜間撮影した離線アークの様子

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±26°であるが，画角端部はゲインが低下するため，有効画角は±20°（60m 離れで水平方向 43m）としている。

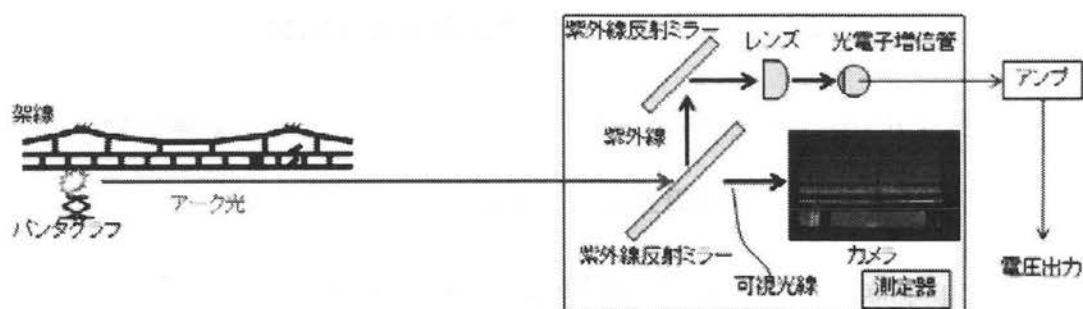


図 2 地上用紫外光式離線測定器概念図

2.2 測定原理

図 2 に本測定器の測定原理図を示す。架線・パンタグラフの離線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 2 枚を経由した後に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。また、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。下記に本測定器において使用した光電子増倍管を示す。

光電子増倍管 (浜松ホトニクス製)

型番 R7154

感度波長 160~320nm

2.3 紫外線反射ミラーの特性

本測定器において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り、Type 1 と Type 2 の 2 種類のミラーを使用して検証を行った。今回使用した 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 3 と 4 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。

Type 1 のミラーは太陽光に含まれず離線アークに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 2 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 2 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。図 5 は 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である。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 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、

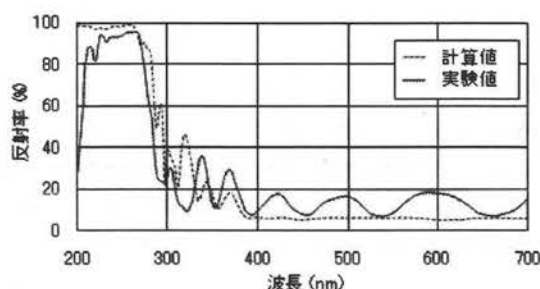


図 3 紫外線反射ミラーの反射特性 (Type 1)

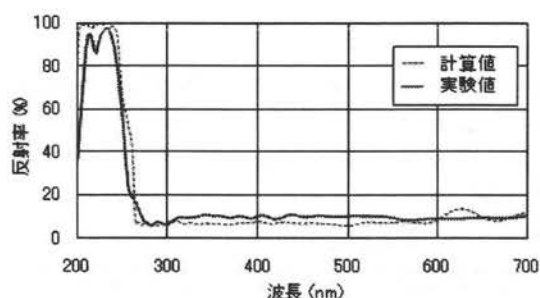


図 4 紫外線反射ミラーの反射特性 (Type 2)

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、3.5 秒近辺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 6 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 7) を行った結果である。ただし、図 5 のデータとは測定場所は異なる。図 6 (正午) と図 5 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、紫外線反射ミラーが 2 枚入っ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。

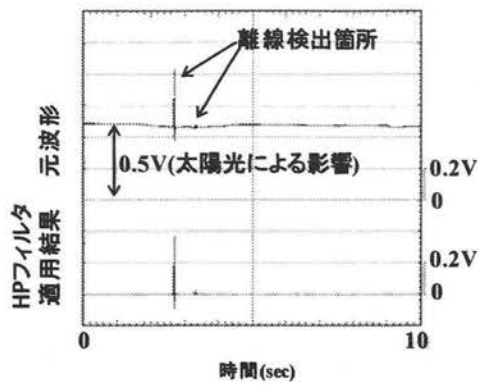


図5 太陽光の影響確認(Type 1): 正午

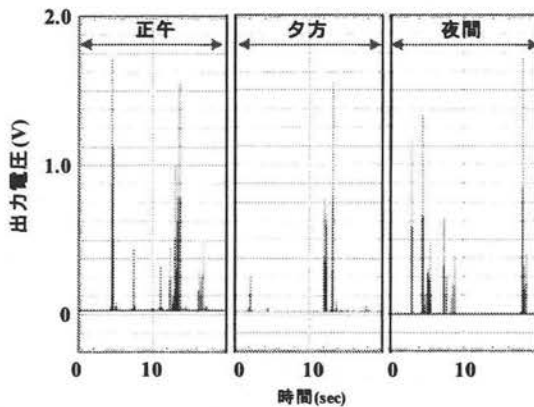


図6 太陽光の影響確認(Type 2)

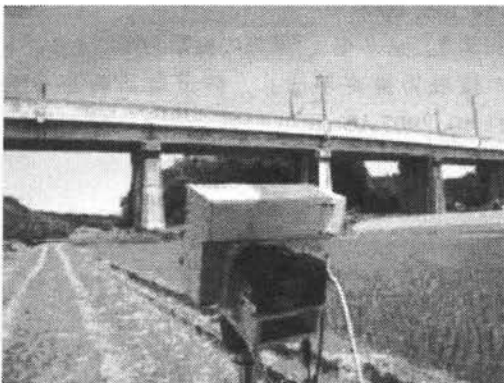


図7 現地測定の様子

2.5 画角感度特性確認試験

測定器の測定角度が感度に与える影響の確認を行った。図8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、角度 θ 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9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が現実的でないと判断した。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。

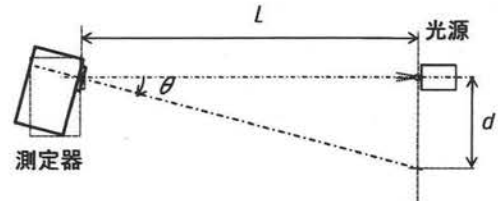


図8 画角感度特性確認試験

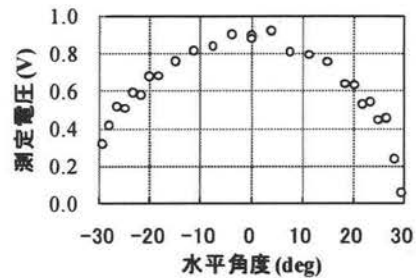


図9 画角感度特性(水平方向)

3. 現地試験結果

3.1 従来の測定器との比較結果

現地試験において従来の可視光式離線測定器と同時に、紫外線検出式離線測定器で離線アークの測定を夜間に行った結果を図10に示す。両者の測定器はほぼ同一箇所に設置した。

紫外線検出式離線測定器は前記のように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²⁾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光のスペクトルが変わっ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、紫外線検出式離線測定器は外界の明るさだけでなく、列車の車内灯の灯りなどにも影響を受けないため、可視光式離線測定器と比較すると設置の自由度も改善した。

ただし、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が発生している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。

3.2 トロリ線摩耗との比較結果

本測定器による新幹線営業線における離線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

11 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 Φ 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 で移動平均を計算した結果である。また、接触力と離線アークは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、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を実施すると同時に、この箇所におけるトロリ線摩耗の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。

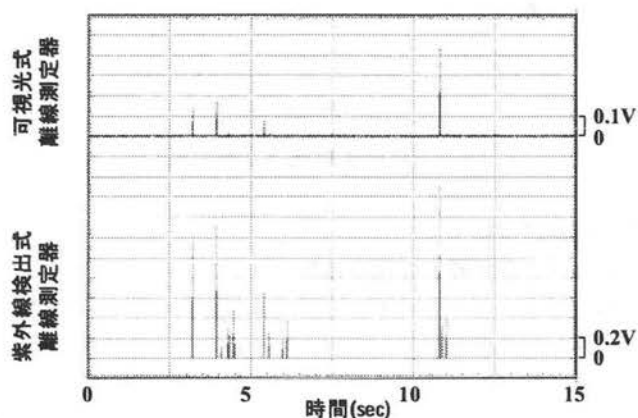


図 10 可視光式の離線測定器との比較結果

4. まとめ

本論文では紫外線検出式地上離線測定装置の開発と測定データ例の紹介を行った。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が効率的に実施できるようになった。

ただし本測定器は、一般的な光学式の離線測定器と同様に、測定点から舟体の影になる箇所が発生している離線アークは検出しにくいという問題点がある。定量的な評価を行う際にはできるだけ舟体の影にならないような視野から測定を行うなどの注意が必要である。

また、本測定器はトロリ線着霜時の異常離線の検出や、パンタグラフ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。

参 考 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, pp216-217, 2005
- 2) 早坂高雅, 清水政利:「光学式離線測定における紫外光検出方法の検討とその適用結果」, 平成 20 年電気学会全国大会, No.5-097, pp156-157, 2008
- 3) 根津一嘉, 他 2 名:「UV 光学式離線測定装置の基礎的検討」, 平成 20 年電気学会全国大会, No.5-098, pp158-159, 2008
- 4) 臼田隆之, 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.21-10, pp41-46, 2007.10

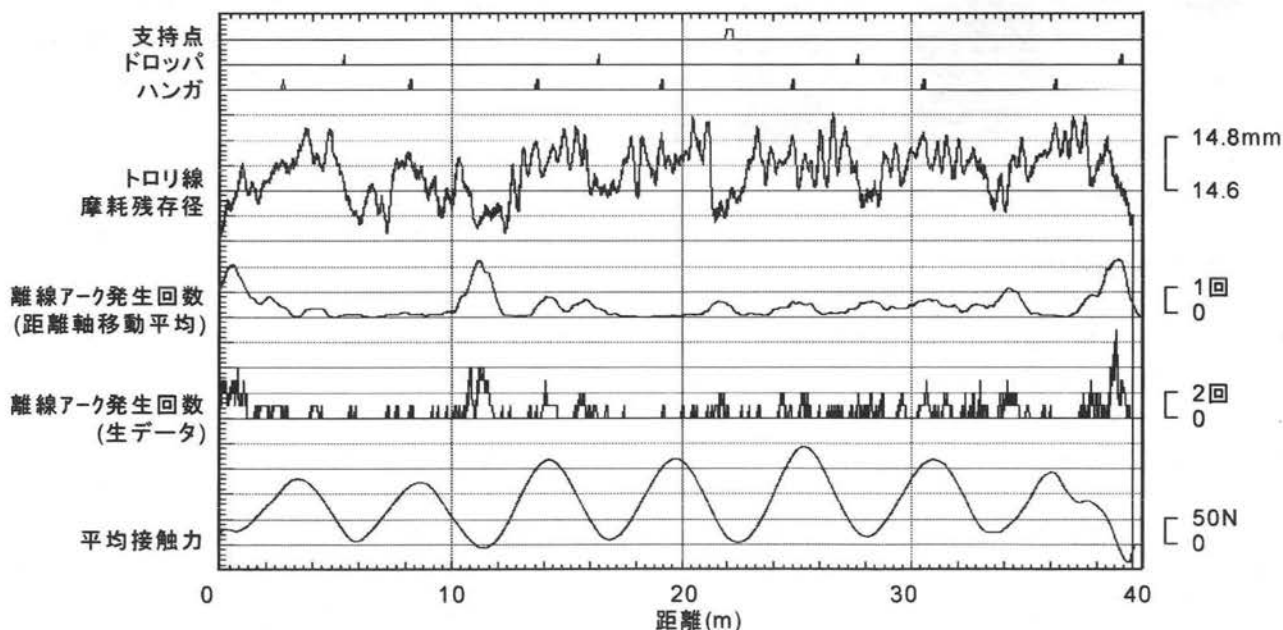


図 11 離線頻度とトロリ線摩耗残存径との対比結果