

## 紫外線検出式離線測定装置の開発

電力技術研究部 電車線構造

副主任研究員 早坂高雅

### 1. はじめに

架線・パンタグラフ系の円滑な集電のためには、トロリ線とパンタグラフのすり板が常に接触していることが望ましい。しかし、列車速度が上昇するにつれてトロリ線とすり板が機械的に離れ(離線)、強い光(アーク光)をとまなうアーク放電が発生する。このアーク放電は、騒音、すり板およびトロリ線の摩耗進行の原因となる。したがって、アーク光の検出は、集電性能を判断するための重要な測定項目の1つになっており、この検出のために光学式離線測定装置が広く使用されている。しかし、従来の測定装置は、可視光線領域の光を検出しているため、その測定精度が周囲の明るさに左右される。一方、海外における光学式離線測定では、アーク光に含まれる紫外線を検出する方式が採用されており、EN規格でもこの方式を用いた測定装置の要件が記載されている。この紫外線を検出する離線測定は、周囲の明るさの影響をほとんど受けないことから、離線測定の精度が格段に向上するものと考えられる。

従来の光学式離線測定では、パンタグラフ近傍から車内までプラスチック光ファイバを敷設して測定を実施している。一般的にプラスチック光ファイバは紫外線を透過しないため、紫外線を測定する測定装置(紫外線検出式離線測定装置)に用いることができない。そこでプラスチック光ファイバに代わり、紫外線を透過する石英光ファイバを用いる必要があるが、この光ファイバはプラスチック光ファイバに比べて高価であるという欠点がある。そこで、紫外線検出式離線測定装置の開発は、従来の測定装置を用いることを前提に進めた。具体的な検討方法は次章以降で述べるが、離線検出波長の検討、およびその検出波長を精度良く検出できる手法を検討した。その結果、紫外線を可視光線に変換することのできる紫外線・可視光線変換ユニットを開発し、それをプラスチック光ファイバの先端に装着することで上記の問題を解決した。本報告は、アーク光や太陽光のスペクトル分布から、離線を精度良く検出することができる紫外線領域の波長の特徴、従来から用いられている光学式離線測定装置、今回開発した紫外線・可視光線変換ユニットの特徴、ならびにそれらを用いた屋内試験結果、現車試験結果を示すものである<sup>1)</sup>。

### 2. アーク光に含まれる光の波長と太陽光の波長

アーク光に含まれる光の波長分布を測定するため、表1に示すような通常使用されている電車線材料を用いてアーク光を発生させ、そのスペクトル分布を計測するとともに太陽光のスペクトル分布の測定も実施した。図1に分光測定の概要を示す。陰極側を遠隔操作で降下させ、陽極と陰極の開離時にアーク放電を発生させた。これにとまなうアーク光は分光器の受光部を通して検出器に送られ、パソコンにそのスペクトルが出力される。アーク光発生箇所と受光部の距離は1100mmとし、直流電源の出力は電流330A、電圧50Vに設定した。またこの分光器を用いて太陽光のスペクトルも測定し、アーク光のスペクトルと比較した。

図2はアーク光および太陽光の分光測定結果である。アーク光をCuとBF、BC、C間で発生させた場合、そのスペクトル分布は、すり板の種類によって異なるものの、紫外線領域である200~240nm付近(A)や320~340nm付近(B)ではどの組み合わせにおいてもある程度の強度を持

つスペクトル線が観測された。また太陽光のスペクトルは 350nm 以下にほとんど含まれていないことがわかる。このように離線の際に発生するアーク光には紫外線領域に特定のスペクトル線が含まれ、これらを検出することで太陽光の影響を排除した測定が可能である。

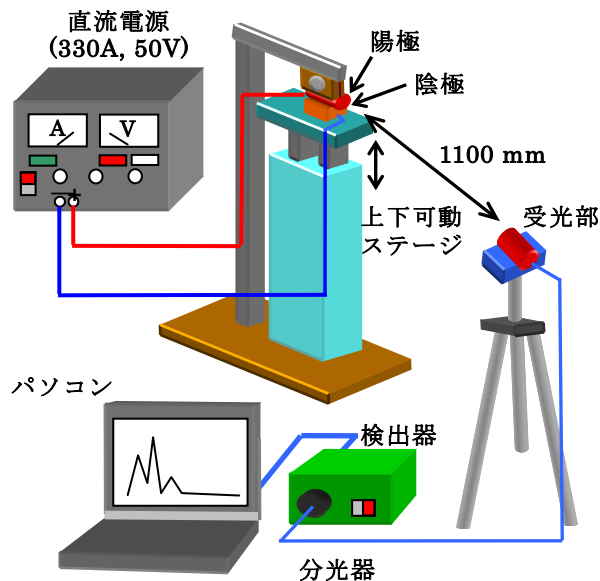


図1 アーク光の分光測定概要

表1 アーク光分光測定で使用した材料

極性	使用材料：標記
陽極	硬銅トリリ線 : Cu
陰極	鉄系焼結合金すり板 : BF
	銅系焼結合金すり板 : BC
	純カーボンすり板 : C

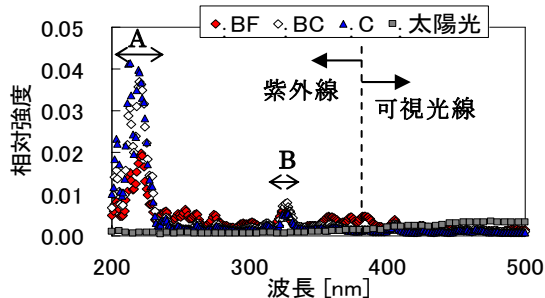


図2 陽極(Cu), 陰極(BF, BC, C)間のアーク光のスペクトルと太陽光のスペクトル

### 3. 離線測定装置

#### 3.1 従来の離線測定装置(光ファイバ型離線アーク測定装置)

光ファイバ型離線アーク測定装置は、これまでの離線測定に対して、広く用いられてきた装置である。表2はその装置を構成しているセンサ等の特徴であり、図3は概要である。トリリ線・すり板間で発生したアーク光は、車両の屋根上から車内まで配線されたプラスチック光ファイバによって車内の検出器へ送られ、検出器内部の光電子増倍管で電気信号に変換される。なお、この測定装置で検出しているアーク光の波長は前述したように可視光線である。したがって、アーク光以外の光、例えば太陽光、駅照明なども検出するため、これらの光が無い状態での測定が望ましい。

表2 光ファイバ型離線アーク測定装置の構成と特徴

構成機器	特徴
光ファイバ	プラスチック
検出器	可視光線検出 光電子増倍管

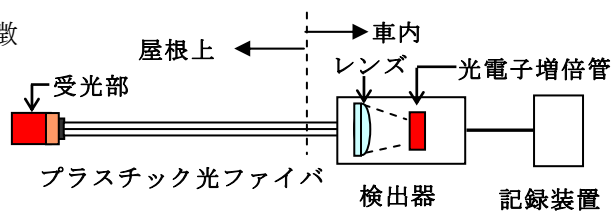


図3 光ファイバ型離線アーク測定装置

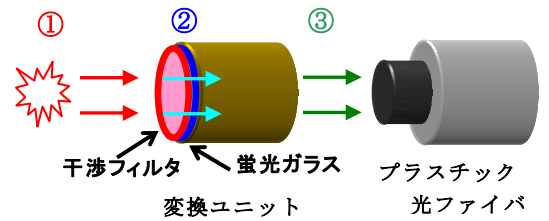
#### 3.2 紫外線検出式離線測定装置

3.1 で述べたように図3に示す従来の離線測定装置は、可視光線しか検出できない。したがって、図2に示すようなアーク光に含まれる特異な紫外線を検出するため、図3の測定装置の受光部で紫外線を可視光線に変換することを検討した。図4(a)~(b)は、紫外線を可視光線に変換することができる紫外線・可視光線変換ユニットの構造、ならびにそれをプラスチック光ファイバ先端に装着して紫外線検出式離線測定装置として用いた場合の概観を示す。紫外線・可視光線変換ユニットは図4(a)のように、干渉フィルタおよび蛍光ガラスから構成され、以下の方法で紫外線

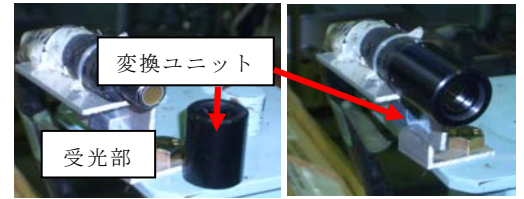
から可視光線への波長変換を行っている。

- ① 離線により発生したアーク光がユニットに到達
- ② 干渉フィルタによって紫外線を抽出
- ③ 紫外線量に応じた可視光線量を放出する蛍光ガラスによる紫外線・可視光線の変換

このように紫外線から可視光線に変換されたアーク光は、プラスチック光ファイバを通ることが可能となり検出器へと導かれる。また紫外線・可視光線変換ユニットは図 4(b)のように光ファイバ先端に取り付け、取り外しができる。



(a) 紫外線・可視光線変換ユニット構造



(b) 紫外線・可視光線変換ユニット外観(左：取付前、右：取付後)

#### 4. 各種検証試験

##### 4. 1 EN 規格に対する試験

EN 規格(EN50317)における紫外線検出式離線測定装置の要件のうち、下記(1)~(3)の条件に関する試験を紫外線・可視光線変換ユニットが装着された光ファイバ型離線アーク測定装置に対して実施した。

- (1) 検出器の検出波長は220~225nmまたは323~329nmを含むこと
- (2) 検出器はパンタグラフの最小および最大作動範囲のすべてに対し感度を有し、その感度公差は10%以内とすること
- (3) 検出器が検出可能な最小アーク光のパワー密度を示すこと

なお(2)に関しては在来線の架線最低高さ 4600mm から架線最高高さ 5400mm の間の 800mm(±400 mm)について考えるものとして、この範囲での出力公差が 10%以内となる受光部設置箇所を定めることとした。また(3)に関しては、直射日光が検出器に入射した場合の出力電圧を求め、それを離線検出の最小アーク光のパワー密度とした。すなわち直射日光による出力電圧を離線検出のスライスレベルとすることで、この紫外線検出式離線測定装置が検出可能な最小アーク光パワー密度を定義した。

図 5(a)~(c)に紫外線検出式離線測定装置の特性として干渉フィルタ透過率、紫外線・可視光線変換ユニット中心軸と光源の角度変化による出力公差、および出力特性を示す。図 5(a)の干渉フィルタは、図 2 で示したアーク光に含まれる特定の波長のうち、200~240nm を透過するように設計し、半値幅で 206~226nm を透過する。また図 5(b)の出力公差に関しては約±7° が 10%の公差となっているため、パンタグラフ・受光部間の距離を約 3.3m 以上離すことで±400mm を出力公差 10%以内に収めることが可能である。図 5(c)は紫外線領域のみを放射する光源に対する出力電圧である。またこの紫外線検出式離線測定装置に直射日光が入った場合の出力は 0.03V であったことから、この装置の検出可能な最小アーク光のパワー密度は、 $5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  程度であり、太陽光の影響をほとんど受けないことがわかる。

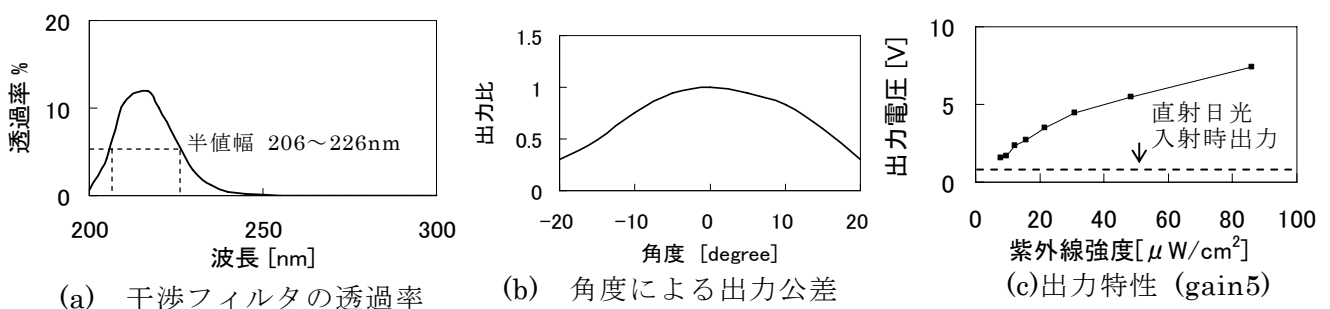


図 5 紫外線検出式離線測定装置の特性

#### 4. 2 屋内試験

屋内試験は図 6 のような摩耗試験機内に紫外線検出式離線測定装置，光ファイバ型離線アーク測定装置を設置して実施した。ただし，光ファイバ型離線アーク測定装置には光の強度を減少させる ND (Neutral density) フィルタを取り付けて，アーク光強度を弱めている。さらに試験中は摩耗試験機の扉を閉めてアーク光以外の光が入らないようにした。図 7 に屋内試験結果を示す。紫外線検出式離線測定装置と光ファイバ型離線アーク測定装置は，離線により発生したアーク光に対し同時に反応していることが分かる。

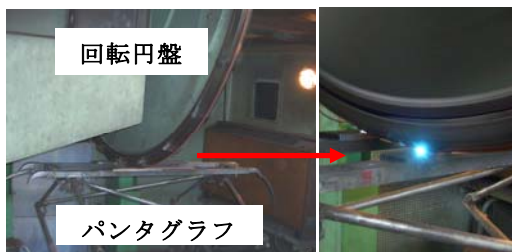


図 6 摩耗試験機(左：円盤停止，右：円盤回転)

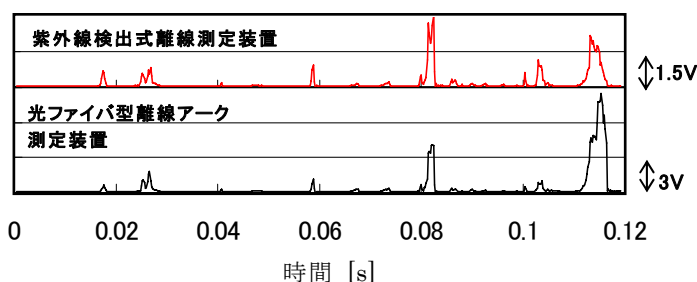


図 7 屋内試験結果

#### 4. 3 現車試験

現車試験では取り付け箇所の制約があり，パンタグラフから約 3 m 離れた箇所に紫外線検出式離線測定装置の受光部を設置した。図 8 は昼間に実施された現車試験結果であり，離線によって電流の正弦波が崩れた瞬間(離線時)と紫外線検出式離線測定装置の出力変化が一致しており，昼間でも離線測定が可能であることが分かる。

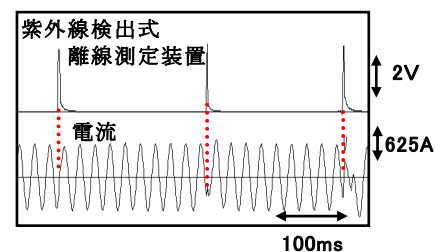


図 8 現車試験結果

#### 5. まとめ

現在使用されているアーク光を検出する離線測定装置のうち，光ファイバ型離線アーク測定装置は，検出波長が可視光線であるため，測定精度が周囲の明るさの影響を受ける。そこで紫外線による離線測定を光ファイバ型離線アーク測定装置で実施可能なように，光ファイバ型離線アーク測定装置の光ファイバ先端に装着する紫外線・可視光線変換ユニットを開発した。この一連の開発において得られた結果をまとめると以下となる。

1. アーク光の波長は，陽極に硬銅トリ線，陰極にBC，BF，Cのすり板を使用している場合，200～240nm付近や320～340nm付近に強いスペクトル線を含むことが分かった。
2. これらの波長域を検出できるような測定装置として，紫外線・可視光線変換ユニットを光ファイバ型離線アーク測定装置に装着する方式の紫外線検出式離線測定装置を開発した。
3. 屋内試験で紫外線検出式離線測定装置と光ファイバ型離線アーク測定装置の測定結果を比較したところ，離線により発生したアーク光に対し同時に反応していることが分かった。
4. 昼間の現車試験において離線測定を実施した結果，紫外線検出式離線測定装置は昼間でも離線を検出することが確認できた。

今後は，紫外線検出式離線測定装置で得られたデータを用いた新たな評価手法の確立を目指して研究を進める予定である。

#### 【参考文献】

- 1) 早坂高雅，清水政利，根津一嘉：紫外線検出式離線測定装置の開発，鉄道総研報告，Vol. 22，No. 12，2008.12