

赤外放射を利用した電車線接続 不良部の非接触走行検出法

松井松長* 玉重繁良**

On Infrared Running Detection System for Hot Junction of Trolley Line

Matsunaga MATSUI and Shigeyoshi TAMASHIGE

ABSTRACT

A running detection system for incomplete connection of trolley line using spatial filtering and radiometry is described. Also, a spatial filter constructed of an electronic reticle with infrared detector array or optical fiber layers instead of a fence reticle is proposed.

キーワード：非接触検出，空間フィルター，熱赤外放射，電車線

1 はじめに

送電線、き（饋）電線等の架空電線接続不良部分の適切な識別・検出法の確立は、電線路の保守、管理面から要望される。これに関連して、筆者らはすでに固定式非接触検出法の一方式について提案した¹⁻³⁾。折しも当研究室（福山大赤外研）では、中国鉄道科学研究院より電気鉄道における架空送電線（電車線、導電線：中国での呼称）の接続不良箇所の非接触検出技術について相談を受け、これを契機として非接触検出方式について検討することになった。

電気鉄道においてき電線、き電分岐線、電車線など（Fig. 1参照）は電気車（電車、電気機関車）へ電力を供給する唯一のルートであり、正常な列車の運行を確保するためには、これら給電系統の異常を迅速に検知し補修する必要がある。本研究の当面の目的は電車線とき電分岐線との接続不良箇所を電車等に搭載したセンサーより高速で識別・検出する方式を開発することであるが、この方式は若干手直しすることによりヘリコプター等による架空送電線の発熱部の飛行検出にも応用が可能である。

本報告では、き電分岐線接続部の発熱（接続不良）に対して空間フィルターを適用した走行検出方式の考察、

および基礎実験結果などについてのべる。

2 き電分岐線接続部における発熱

初めに検出目標であるき電分岐線と電車線との接続部の形状と発熱についてふれておく。Fig. 1に接続部分の概略を示す。接続部分の形状は架線方式によっても若干異なるが、多くはL形または入形である。わが国ではこの種の接続部における発熱（すなわち接続不良）事故は極めて少いのに対して、中国の場合は比較的発生頻度が高いといわれている。その第1の原因としては電車線に

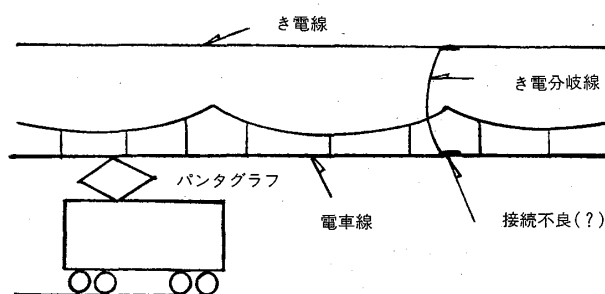


Fig. 1 き電分岐線と電車線の接続部

アルミニウム線が使用されていること（主として経済的理由）があげられる。純度の低いアルミニウムは腐蝕しやすく、これが接続不良を惹起するものと考えられる。第2として、き電分岐線接続部の構造に起因していることも考えられるが、中国側の電鉄関係資料が未着のため詳細については不明である。

3 空間フィルターと赤外線検出器を用いた発熱部検出方式の考察

検出目標となるき電分岐線の接続部は、接続不良の場合、周囲よりも高温の温度放射体となり、その形状は鉛直方向の線形物体と見なされる。これを走行する電気車上より検出するには、上述の物理的な特徴を利用し、かつ非接触で移動しながら動作するシステムが適している。一般にこの種の発熱体の検出には単に高感度、高速度の赤外線センサーではなく、類似物体（または現象）との誤認を防止できる高知能化センサーが要求される。これらの条件を満たす装置としては、空間フィルターと高速度赤外線検出器の組み合わせが考えられる。

電線のような直線状物体は、一方向の空間周波数成分しかもっていないことおよび検出目標が静止して検出装置が電気車と共に移動することから、光電変換後の信号処理過程をも考慮に入れて1次元帯域通過特性を有する静止形空間フィルターを用いるのが適当である。このような特性をもった空間フィルターは静止フェンス・レティクルによって実現することができる⁴⁾。

いま、Fig. 2に示したような2次元放射輝度分布をもつ静止物体すなわちき電分岐線 $g(x, y)$ を対物レンズにより像面上に結像させる。この像面上に設置したフィールド・ストップおよび透過率分布 $r(x, y)$ の固定フェンス・レティクルを透過した放射束が赤外線検出器に集光されるようなシステムを考える。なお、フェンス・レティクルは長方形フィールド・ストップ ($A[\text{rad}] \times B[\text{rad}]$) に重ねて固定し、これらの系全体をX方向に $V[\text{rad/sec}]$ の等速度で移動する、すなわち直線走査しているとする。このときの出力 $e(t)$ は

$$e(t) = \iint_{\infty} r(x, y) \cdot g(x - v, y) dx dy \quad (1)$$

上記のフーリエ変換、すなわち出力スペクトルを $E(f)$ 、 $r(x, y)$ および $g(x, y)$ のフーリエ変換をそれぞれ $R(f_x, f_y)$ および $G(f_x, f_y)$ として

$$\bar{E}(f) = \frac{1}{v} \int_{-\infty}^{\infty} R\left(\frac{f}{v}, f_y\right) \cdot G\left(\frac{f}{v}, f_y\right) df_y \quad (2)$$

ただし、 f : 時間周波数

f_x, f_y : 空間周波数の x および y 成分

$f = f_x v$

また、レティクルの伝達関数 $R(f_x, f_y)$ は、 n を任意の整数として

$$R(f_x, f_y) = \frac{AB}{2} \text{sinc} \frac{\pi A f_x}{2n} \cdot \frac{\sin \pi A f_x}{n \sin(\pi A f_x/n)} \cdot \text{sinc} \pi B f_y \quad (4)$$

ただし、 $\text{sinc} X = \sin X/X$

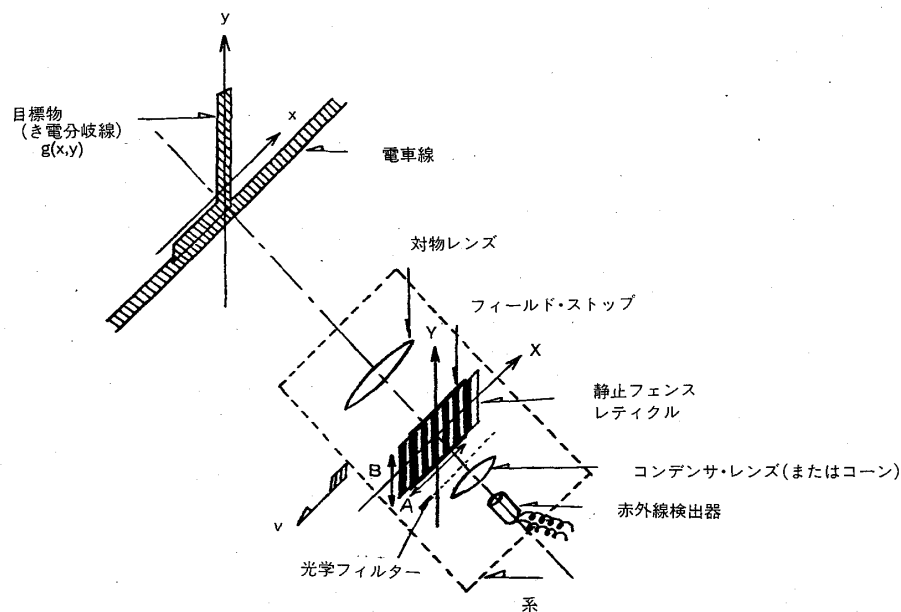


Fig. 2 不良接続点検出光学系

Fig. 3に $n=5$ の場合の出力スペクトルを示す。実際に際して低域通過成分は電気フィルターで除去する。

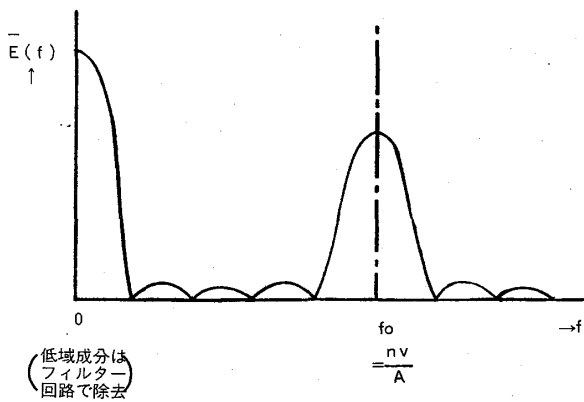


Fig. 3 出力スペクトル

4 電子式レティクルの検討

3において静止フェンス・レティクルと光学系ならびに検出器を用いて空間フィルターを構成した。ここではこれを一步前進させた電子式レティクルを検討してみる (Fig. 4~Fig. 5)。

Fig. 4は光ファイバーを直線状に並べて数十mmの幅にし、これを数十層重ねたものを各層毎に束ねてそれぞれフォト・ダイオードに接続している。Fig. 4は隔層毎に出力の (+) 同志を接続して (+) 出力とし、他方を接続して (-) 出力としたもので、静止形フェンス・レティクルと同様の動作をする。

次に、奇数層の (+) 出力と偶数層の (-) 出力を接続して一方の極とし、奇数層の (-) と偶数層の (+) を接続して他方の極とする。この場合は有極性フェンス・レティクルとして動作するから一次元帯域通過特性であるが、出力側には低域成分は現われない。

Fig. 5はフォトダイオード・アレイを利用した場合であって、同図のように奇数番目 (または偶数番目) の (+) 極同志を接続して静止形フェンス・レティクルとして動作させることができる。また、奇数番目の (+) 極と偶数番目の (-) を接続して一方の極とし、奇数番目の (-) と偶数番目の (+) を接続して他方の極とした場合は有極性フェンス・レティクルとして動作する。

光ファイバーおよびフォトダイオード・アレイとして現在市販されているものの動作波長域は可視~近赤外域であるから、現状では約300℃以下の物体の検出は困難であって、この場合には前節およびFig. 2で述べたレティクルと中間赤外用の検出器を使用するしかなく、電子化のためには今後の新しい素材や素子の開発にまたねばならない。

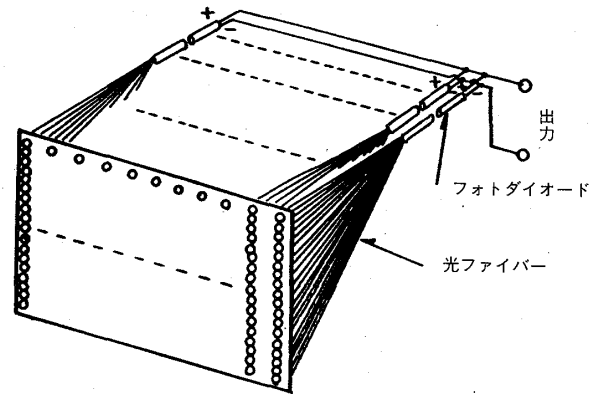


Fig. 4 光ファイバー列とフォトダイオードによる静止フェンス・レティクルの構成

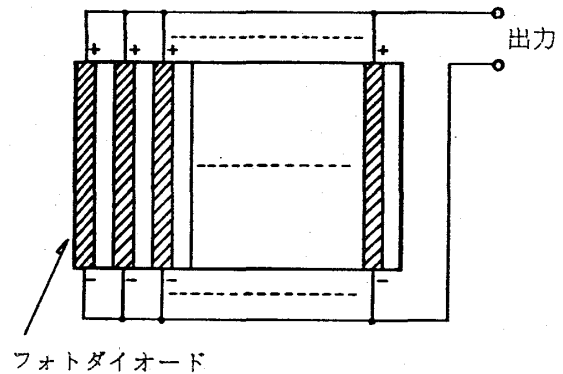


Fig. 5 フォトダイオード・アレイによる静止フェンス・レティクルの構成

5 接続不良部検出システム

前記3または4で考察した検出方式を採用する不良箇所の走行検出システムとしては、Fig. 6のようなものが考えられる。

き電分岐線は通常電柱とほぼ同位置で電車線と接続されていることから、光学式 (夜間も考慮して中間赤外域で動作) で電柱位置信号を発生し、検出信号と同時に表示または記録するのが適切である。もちろん、適当な距離間隔で走行距離信号を発生し、利用する方法もある。

6 基礎実験

3で検討した静止フェンス・レティクルおよび4で提案した電子式レティクルの性能を確認するためにFig. 7のような可視光モデルを製作して予備実験を行った。静止フェンス・レティクルの目標選択性能を調べるためにスリット状可視光源を回転してレティクルのセグメント

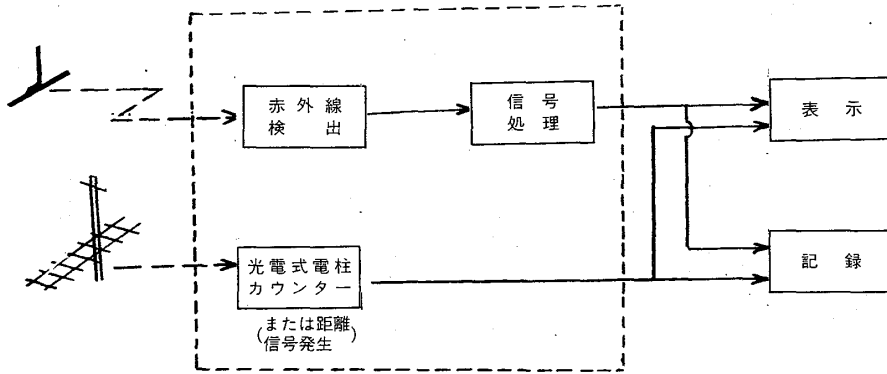


Fig. 6 走行検出システム

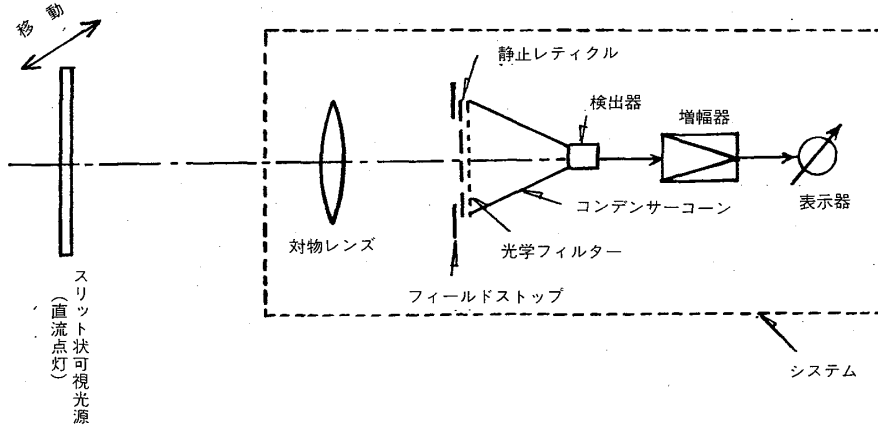
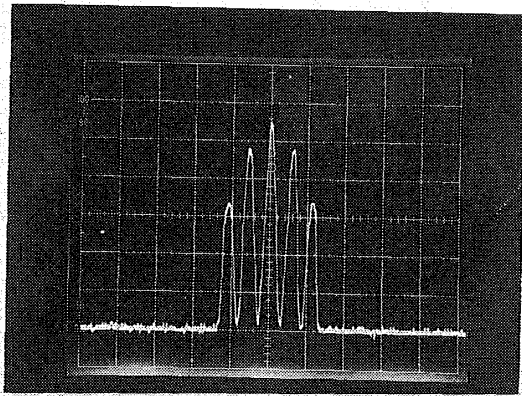
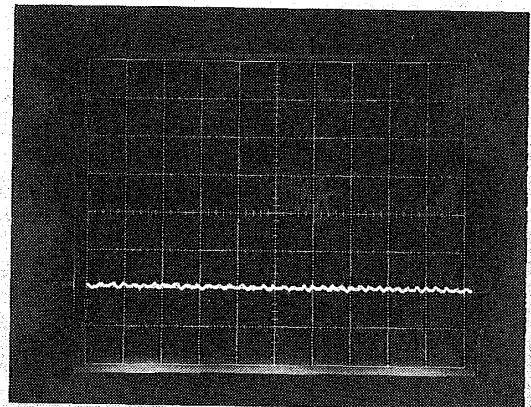


Fig. 7 可視域における実験装置の概略



(a) 直線状光源とレティクル・セグメントが平行なときの出力



(b) 垂直なときの出力

Fig. 8 レティクルの角度による出力の変化
(距離: 1 m, 速度: 5 km/h)

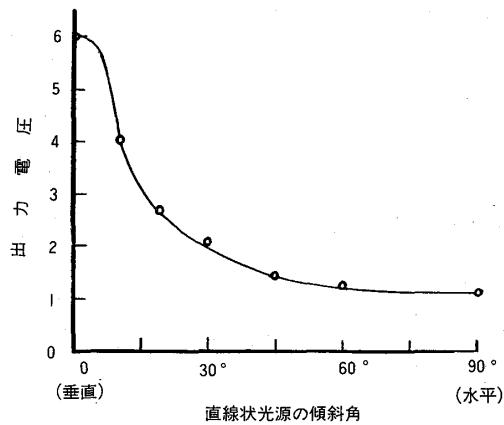


Fig. 9 直線状光源の傾きに対するレティクルの出力特性

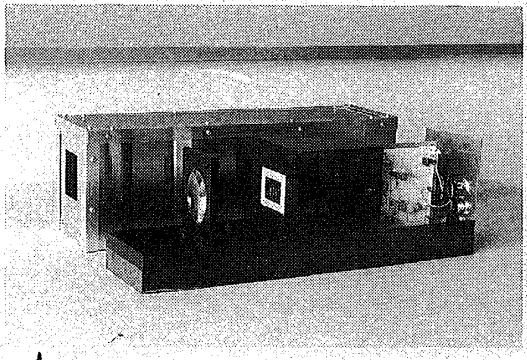


Fig. 10 静止レティクルを利用した装置の概観

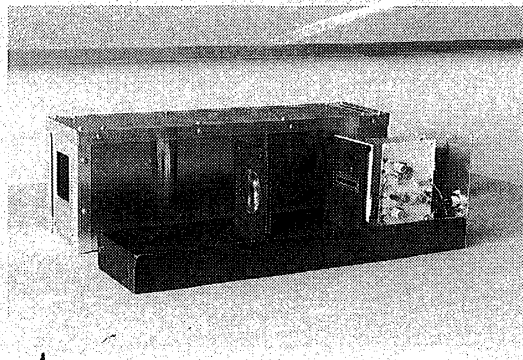


Fig. 11 フォトダイオード・アレイを静止レティクルとして利用した装置の概観

に対する角度を変化させながら出力を測定した。Fig. 8 (a)は光源とレティクル・セグメントが平行な場合、同図(b)は垂直に置いた場合である。また、Fig. 9は 0° ～ 90° まで変化したときの出力特性である。これらの結果より静止フェンス・レティクルがほぼ所期の通り動作していることが確認された。Fig.10に静止形レティクルを利用した装置、Fig.11にフォトダイオード・アレイを静止形レティクルとして利用した装置の外観を示す。

また、光源を棒状セラミック・ヒーターに置換えて実験を行い、ヒーター表面温度 450°C 以上においてほぼ同様の結果が得られた。

7 おわりに

架空電線接続不良部分の非接触走行検出方式について基礎的な事項を検討した。その結果、静止フェンス・レティクルを利用した方式の有効性が確認され、初期の目標を達成した。今後は引き続き実用化試験を行うべく準備中であるが、これと並行して他分野への応用についても検討中である。

なお、本研究の概要は平成元年11月照明学会研究会において報告した⁵⁾。また、実験に際しては卒研究生増田昌彦君の協力を得た、記して謝意を表します。

文献

- 1) 松井松長, 高木亨, 鷹西彰: 照明学会放射応用関連計測研究会資料, AR-83-15(1983).
- 2) 松井松長, 玉重繁良, 高木亨: 電気四学会中国支部連合大会論文集, 10901(昭58).
- 3) 松井松長, 高木亨: 日本産業科学研究所研究報告, No.3, 1~13(昭59).
- 4) 高木亨, 堤捨男: 赤外線系の空間フィルター, 電子通信学会電子装置研究会資料(1964).
- 5) 松井松長, 玉重繁良: 照明学会光放射応用関連計測研究会資料, AR-89-25(1989)