

非接触式直流電圧 検出器の開発



甲山 貴章*



吉田 匡志**



出野 市郎*

JR東日本の在来線の直流区間では、1,500Vの電圧で電車を運行している。これらの車両に電力を供給するトロリ線の点検作業などは、感電事故防止のため、停電をしたうえで作業を行っている。しかし、大規模な駅構内などでは、複数の路線が乗り入れているため、すべてのき電用回線を同時に停電させることが難しい場合も多く、作業箇所隣接する路線が加圧された状況で作業を実施することもある。これまでは、架線に接触させて加圧状態を確認する検電器を使用して、作業する箇所の停電状態を確認していたが、誤って活線近接範囲内に接近し、感電事故が発生するおそれがあるため、非接触で直流電圧の加圧状態を確認する方法が求められていた。本研究では液晶を使用した直流電圧検出機構により非接触で架線の停電状態を確認可能な非接触式直流電圧検出器を開発し、これにより地上から停電状態を判別できることを確認した。

●キーワード：感電事故防止、停電、検電器、液晶、非接触式直流電圧検出器

1. はじめに

電車線の停電作業では、地上から約5mの位置にあるトロリ線に対して、地上から検電器を接触させて停電を確認した後、架線に接地器を取り付けてから作業している（検電接地）。しかし、大規模な駅構内などでは、複数の路線が乗り入れているため、すべての回線を同時に停電させることが難しく、停電箇所と加圧箇所が混在する状態で作業を行うことも多い。また、検電接地を行った箇所から離れた場所へ移動して作業することもあり、回線の輻輳した箇所の作業では、誤って活線近接範囲内に接近し、感電事故が発生する可能性がある。このような作業による事故を防止するために、作業員が各々の作業箇所から簡単に架線の加圧状態を確認できる器具の開発が求められていた。交流電圧の加圧状態については、非接触で停電状態を確認する方法が既存技術として存在したが、直流電圧の場合は、これを非接触確認するための、既存技術が存在しなかった。

本件では、液晶を使用した検出機構により、直流電圧の加圧状態を地上から非接触で検出することのできる、非接触式直流電圧検出器の開発を行ったので、その経緯および概要について報告する。

2. 直流電圧検出の現状

現在実施している加圧状態の確認方法は、トロリ線とレール間に接触式の検電器を取り付けて電圧を検出する方法である。この方法は、状態確認のたびに、ゴム手袋、ゴム長靴の絶縁保護具を着用して検電器を取り付ける必要があり、作業性に課題があった。これらの課題に対し、作業の安全性、容易性を向上させるため、非接触で直流の加圧状態を確認する方法が求められてきた。直流1,500Vを検出するセンサとしては、かつて市販の「音叉式表面電位センサ」を用いて開発した「非接触直流電圧検出リレー」がある。しかし、その検出距離は加圧部から100mm程度であり、本研究の目標とする活線近接範囲外（1.2m）からの検出とはかけ離れたものであったため、今回は検出原理から考案することとした。

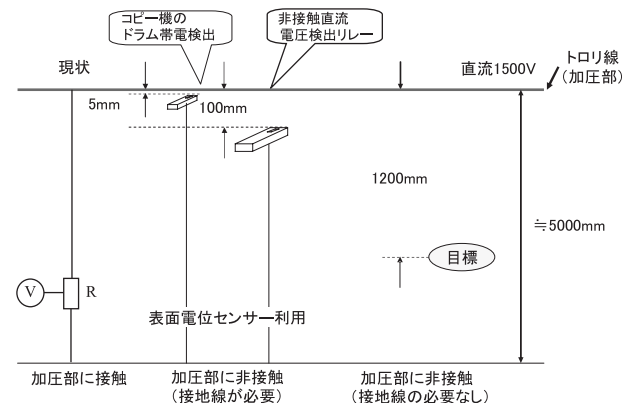


図1 直流電圧検出の現状と目標

3. 非接触式直流電圧検出方法の検討

交流の場合は、加圧部が作る電界が変化するため、空气中の静電容量などを通して発生する誘導電流を検出することで、加圧状態であることを検出することができる。これに対し、直流の場合は、加圧部が作る電界が一定であり誘導電流が流れないため、交流と同様の方法による状態検出はできない。しかし、直流電圧が印加された状態では、加圧部を中心とした静電界が構成されることは既知であるため、静電界より電圧を取り出す方法として、平行平板方式による電圧検出方法を検討した。

3.1 直流電界からの電圧検出

直流電界中に金属平板を配置したとき、平板表面に誘起した電荷により、平板と大地との間で電位差を検出することができる。しかし、検出板単体では放電が大きく、外部環境の影響を強く受ける。そこで、検出板を平行平板に変更して同様の実験を行った。その結果、平行平板がコンデンサと同様の役割を果たし、単板よりも安定した電位差を検出できることを確認した。また、コンデンサの役割を果たすことから、平板間のギャップが大きくなるほど、検出可能電位差が大きくなることが確認できた。

3.2 非接触式直流電圧検出

平行平板により、直流電界から検出した電位差を判定値として使用するための方法として、液晶の持つ性質に着目した。液晶は、電界を受けることにより、液晶を構成する分子が誘電分極する性質がある。液晶の持つこの性質に加え、液晶の上下に90度回転させた偏光板を配置することで、液晶は、電界の有無に対して光を透過・遮光する(図2参照)。本研究では、電界ありの状態では遮光、電界なしの状態では透過となる、ねじれネマティック液晶(TN液晶)を使用し、図3に示す直流電圧検出のセンサ部を構成した。停電状態では、電界が存在しないため液晶は透明である。このとき、発光素子から出力した光は反射板で反射して受光素子へ入力される。電界が印加された状態では液晶は黒くなり、発光素子から出力した光を液晶が遮断するため、受光素子への入力が無くなる。この構成を利用した検出機構に対して試験を実施したところ、電位差の検知レベルが高く外乱の影響を受けにくいという結果を得た。

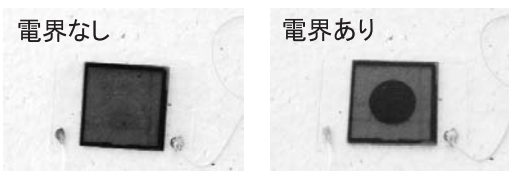


図2 電界の有無による液晶の状態変化

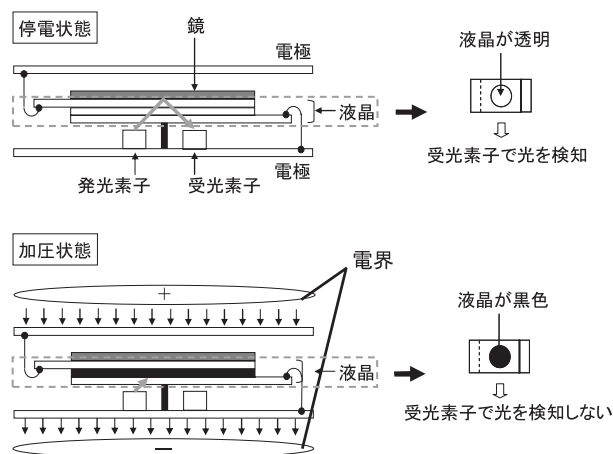


図3 直流電圧検出原理

3.3 液晶の電圧特性

図3に示した検出原理を使用した検出器を作成し、間隔測定棒、塩化ビニル管、紙筒のそれぞれに固定した状態で実設備において試験を実施した。その結果、検出器を固定した物の材質により検出器の周囲の電界分布が乱れるため、電極間に生じる電圧が安定せず、動作が不安定になることがわかった。そこで、液晶の電圧特性に着目し動作を安定させる方法を検討した。

検討している検出器の構成では、加圧状態の電界から測定電極間に生じる電位差は約0.6Vであった。検出器に使用している液晶の電圧-輝度特性は図4に示す特徴を持ち、0~1Vでは、ほとんど輝度は変化しないが、1~2Vでは、輝度が急激に変化する。測定電極間に生じる0.6Vの電圧による輝度の変化量を考えたとき、バイアス電圧を印加しない状態では、輝度の変化量は1%程度となる。これに対し、液晶にあらかじめバイアス電圧を1.2V印加した状態で、測定電極間に0.6Vの電圧を加えたときの液晶の輝度変化は60%となり、同じ電圧であっても、バイアス電圧の有無により、検出器が明確に動作状態を示すこととなる。

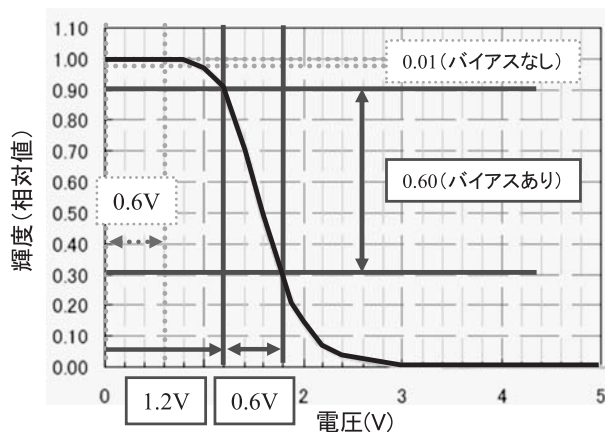


図4 液晶の電圧-輝度特性

4. 非接触式直流電圧検出器の試作

図3の検出原理により、直流電圧の加圧状態を判別することが可能であることが確認できた。そこで、この原理を使用して、作業員が簡易に架線の加圧状態を確認するための検出器の試作を行った。

4.1 ヘルメット装着型

検出器をヘルメット装着型として試験を実施したところ、以下の結果を得た。

- ・加圧状態の検出は可能だが、使用するたびに感度調整が必要であり、動作安定性に課題がある。
- ・ヘルメット表面の帯電による影響により不要動作を示す。

この結果から、実作業において安定して使用するためには、外乱による影響の低減、検出動作の再現性を高める必要があると考えられる。

4.2 スティック型

4.1の結果から、操作者の帯電状態などの外部要因が検出動作に大きな影響を与えることがわかった。そこで、検出器の構造をスティック型にすることで、検出電極を操作者から離れた位置に配置し、人体などの外乱の影響を抑えた。また、電界を受けるセンサ部分を大型化し、液晶への印加電圧を高めることで動作の安定性を高めた。

現在使用している検電器は、接地を基準として、これに対する測定対象の電位を確認している。スティック型検出器を使用して簡易に停電状態を確認するために、キャリブレーション操作を行うこととした。キャリブレーション操作とは、検出回路にバイアス電圧を印加することで電界検出のための基準電位を与える操作である。キャリブレーション操作の有効性を確認するために、接地線を取り付けた状態と、接地線なしの各状態でキャリブレーション操作したものに対して試験を行ったところ、接地線の有無に影響されずに電界検出可能であることを確認した。この結果から、キャリブレーション操作の有効性を確認できた。

スティック部分の部材として塩化ビニル管、紙筒を使用して試験したところ、地上から加圧部を検出できるが、動作の再

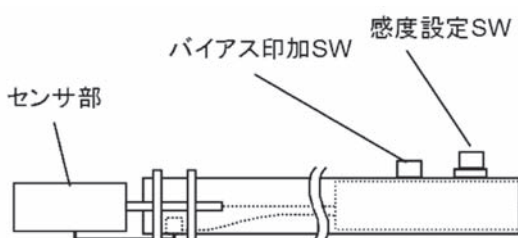


図5 スティック型検出器

表1 感度【高】における検出動作距離

スティック材料	感度設定	トリー線からの距離 (mm)		
		平均	最も接近した条件	最も離れた条件
塩化ビニル管	高	2,370	2,050	2,850
竹筒	高	2,221	1,950	2,850
塩化ビニル管	中	2,150	1,850	2,350
竹筒	中	1,950	1,850	2,350



図6 実用化に向けた試作品

現性に課題があった。そこで、本体部材として、塩化ビニル管、竹筒を使用したものを使用し、部材の変化による動作への影響を確認した。また、検出器に感度切替スイッチを追加し、バイアス電圧の印加レベルによる外乱除去の可否および動作距離の変化を確認した。試験の結果を表1に示す。試験の結果、竹筒、塩化ビニル管共に、検出距離にばらつきはあるものの電界検出できることを確認した。塩化ビニル管の場合、検出部の基準電極が大地から絶縁されているため、基準が定まらない状態となる。このため、検出部が外部の帯電の影響を受け、検出距離に影響を与えたと考えられる。これに対し竹筒は、導電材料と制電材料の中間的な性質を持つため、検出部の基準電極は検出器の操作者の人体を介して接地され、基準を大地にとることができる。これにより、スティック部分の帯電を防ぐこともできるため、検出動作への外部要因の影響が抑制でき、検出距離が安定したと考えられる。

4.3 実用化に向けた試作

実用化するには、強度、耐候性などの面から竹筒の使用は難しい。そこで、塩化ビニル管表面に竹とほぼ同程度の表面抵抗 ($10^{10}\Omega/\text{cm}$) を持つ制電材料を施したスティック型検出器を試作した (図6参照)。

5. フィールド試験

図6に示した試作品を用いて、宇都宮運転所構内の北収容3番線、4番線で加圧時・停電時の動作確認、隣接線加圧時の検出動作への影響などについて試験を実施した

(図7、図8参照)。結果を表2、表3に示す。

試験の結果、各試験において再現性の高い結果となり、各感度別に検出距離が変化することが確認できた。また、試験を行った3番線、4番線は同じ電源系統に属するため、架線の電圧は等しくなる。しかし、表2に示す試験結果から、3番線の直下よりも4番線の直下での試験の方が、検出位置が高くなった。これは、4番線の隣に建屋があり、接地物として電界に影響を与えたためと考えられる。このことから、検出の対象としている直流電界は、周囲の接地物の影響で多少変化することがわかった。また、片側隣接線加圧状態での試験では、感度「高」において隣接線の影響を受けて鳴動したが、感度「中」では、電界強度が検出しきい値以下であり、鳴動しなかった。

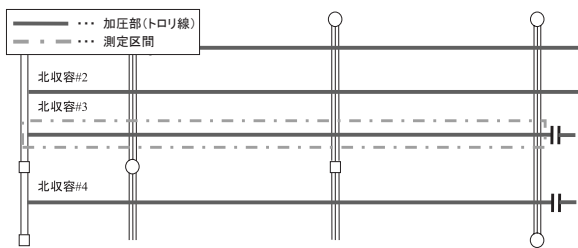


図7 フィールド試験環境 (活線状態)

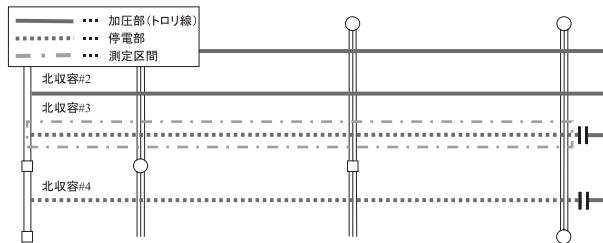


図8 フィールド試験環境 (片側隣接線加圧状態)

表2 フィールド試験結果 (活線状態)

試験	アノラック	感度	番線	センサ部分の地上からの高さ(m)		
1	無	高	3	1.5	1.5	1.5
			4	1.5	1.5	1.5
2	無	中	3	2.3	2.3	2.3
			4	2.5	2.5	2.5
3	無	低	3	2.7	2.7	2.7
			4	鳴動無	鳴動無	鳴動無
4	有	高	3	1.5	1.5	0.8
			4	0.8	0.8	0.8
5	有	中	3	2.1	2.1	2.1
			4	2.5	2.5	2.5
6	有	低	3	2.7	2.7	2.7
			4	鳴動無	鳴動無	鳴動無

表3 フィールド試験結果 (片側隣接線加圧状態)

試験	アノラック	検出器感度	番線	センサ部分の地上からの高さ(m)		
7	無	高	3	1.5	1.6	1.6
8	無	中	3	鳴動無	鳴動無	鳴動無
9	無	低	3	鳴動無	鳴動無	鳴動無
10	有	高	3	1.5	1.5	1.3
11	有	中	3	鳴動無	鳴動無	鳴動無
12	有	低	3	鳴動無	鳴動無	鳴動無

6. モニタ試験

直流電界の場合、交流電界と異なり、電界強度を数値表示できるセンサはないため、実測値から検出強度のしきい値を定めることはできない。そこで、図6に示した試作品を5本作成し、各種条件下にてモニタ試験を実施した。

試験条件としては、線路閉鎖着手後に停電前、停電後の各々の状態に対して動作確認を行った。その結果、停電前の状態では、感度「高」にてすべての状態に対して検出動作を確認したが、感度「中」では、一部の試験において不検出となった。また、停電後の状態においては、感度「高」、「中」の各状態において不要動作を示すことはなかった。非接触式直流電圧検出器は、保安機器の補助手段であるため、その動作には信頼性が求められることから、最適感度は感度「高」とすべきと考えられる。

7. まとめ

本研究では、直流電圧の加圧状態を非接触で簡易に検出することを目的として、直流電圧の検出原理および非接触式直流電圧検出器の開発を行った。結果を以下にまとめる。

- (1) 液晶、鏡、発光素子、受光素子を組み合わせることで、直流電圧検出回路を構成し、これにより非接触で直流電界を検出できることを確認した。
- (2) 検出部を操作者から離れた位置に配置したスティック型の検出器を採用することで、操作者の帯電の影響を抑制でき、安定動作を示した。
- (3) キャリブレーション操作により、検出回路内に基準電位を設定することで、接地線なしに電界の検出が可能であることを確認した。

今後は、製品化モデルを製作し、試使用期間を経て、その後導入を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 出野市郎、江川健太郎、高橋精一：“非接触直流電圧検出リレーの開発”、交通・電気鉄道研究会、TER-94-9、(1994年5月)
- 2) 出野市郎：“非接触直流電圧検出器の開発”、鉄道経営、第56巻、2号 pp.13-16 (2011年2月)
- 3) 甲山貴章、出野市郎、吉田匡志：“非接触式直流電圧検出器の開発”、交通・電気鉄道研究会、TER-11-046、(2011年9月)