

LED形徐行信号機の 視認性評価試験



加藤 武*



佐々木 敦*

線路工事などで臨時に徐行の必要がある場合は臨時信号機を建植し、運転士に対して徐行区間の存在および徐行速度を現示して徐行区間開始までに所定の速度まで低下させることとしているが、運転士から臨時信号機が確認しにくいことがあるという意見があり、視認性の向上が求められている。そこで、徐行区間進入速度超過防止のため、運転士からの視認性を向上させ、かつほかの信号などと錯誤しない臨時信号機を試作し、運転士に対するアンケートの実施および設置する保守係員の取扱いを含めた評価試験を行った。

●キーワード：LED、徐行信号機、ソーラーパネル、視認性、アンケート

1. はじめに

徐行信号機など臨時信号機の見落としおよび失念は徐行区間での速度超過発生危険性があり、列車速度によっては脱線などの重大事故に至る可能性がある。線路工事などで徐行の必要がある場合は臨時信号機を建植し、運転士に対して徐行区間の存在および徐行速度を現示して徐行区間開始までに所定の速度まで低下させることとしているが、運転士から臨時信号機が確認しにくいことがあるという意見があり、運輸車両部、設備部よりLEDなどを用いた臨時信号機の視認性の評価試験実施の要請を受けた。

そこで、速度超過防止を図り、運転士からの視認性を向上させ、かつほかの信号などと錯誤しない臨時信号機を試作し、最適な形状の臨時信号機を本社主管部に提言するための評価試験を行った。

2. 徐行信号機の試作と評価試験の概要

運転士への視認性を高めるために、徐行標板（黄色円形の信号機部分）に使用する高輝度反射材の反射輝度やLED点滅周期および保守係員の臨時信号機の取扱いの容易さを考慮した仕様を検討し、徐行速度表示板へのLED設置、徐行標板などへの高輝度反射材使用、高輝度塗料を塗布した支柱を組合わせた徐行信号機を試作した。評価試験として試作した本線試験用の徐行信号機を営業線に建植し、運転士に対して視認性についてのアンケート調査を実施するとともに、保守係員の取扱いを考慮した最適な臨時信号機の仕様

について提言するためのデータ収集を行った。

3. 実施内容

3.1 試験用徐行信号機の仕様の検討

検討した内容は以下のとおりである。

(1) 徐行信号機の徐行速度表示板枠にLEDを取付

運転士に徐行信号機の存在を認識させるため、現行の運転取扱実施基準から逸脱しない形状として、図1のように徐行速度表示板枠の4隅に視認性の高い青色LED（光源より10cmの距離で照度600lx）を設置した。当初は白色LEDの設置を検討したが、本線試験の前に事前確認を行ったところ、晴天時の日中帯においてLEDの点滅がほとんど確認できない状況となり、本線試験に使用するLEDの再検討を行うこととなった。

白色LEDの輝度を向上することも考えたが、輝度の向上は消費電力の増加に繋がり、電源系の装備が重厚になりかねず徐行信号機の建植に対して支障が大きくなる懸念があること、背面の速度表示板が白色であることによりLED光が速度表示板と同化してしまうことが考えられることから、白色以外のLEDの採用を検討した。発光色については赤または黄色は停止を指示する発光色と誤解を受けるおそれがあるため検討から除外した。一方、日中帯のような高照度の環境下では色温度が高い方が好まれる色であると言われている。それを参考として色温度の高い青色を発光するLEDを採用し、これを点滅させることで照度が高い晴天時においても徐行信号機の存在を認識しやすくするようにした。また点滅については周期を1Hzとし、光の残像効果を期待して1/4秒点灯、3/4秒消灯

として使用電力の低減を図りながら気づきやすさを考慮した。

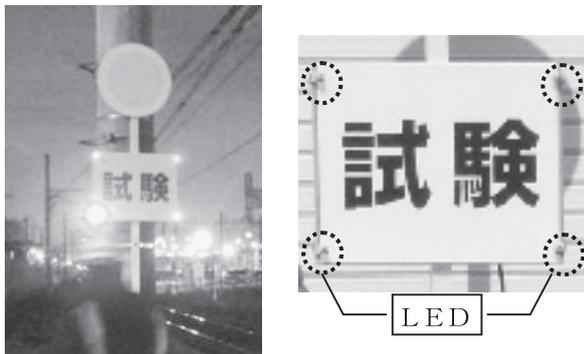


図1 試作した徐行信号機 (LED形)

(2) 信号機部分と速度表示板に高輝度反射材を使用

臨時信号機の信号機部分(徐行予告標板、徐行標板)および徐行速度表示板は列車の安全な運行のために、運転士から高い視認性が求められる。また今回はLED点滅により徐行信号機の存在に気づかせることを狙っているが、LED以外の徐行標板および徐行速度表示板の視認性が悪いとLEDのみ目立ってしまい、重要な表示である信号機部分と制限速度の表示の視認性が悪くなることが考えられた。このため表示板にもこれまで以上の反射輝度を確保することが必要であると考えた。

信号機部分である徐行標板の視認性を向上させるために、すでに使用実績がある反射材(ダイヤモンドグレード)よりさらに高輝度であるプリズムレンズ型クリスタルグレード(図2、反射輝度 $435\text{cd}/\text{lx}/\text{m}^2$ (黄)観測角 12° 入射角 5°)を採用した。一方、徐行速度表示板にも同型のクリスタルグレードまたは高輝度が期待できるカプセルレンズ型の反射材の採用を検討したが、このようなカプセルレンズ型の反射材は反射効率を高めるために空気層が存在することによりある程度の厚さが必要であり、速度表示板に採用するには速度表示板のステーに挿入するときに支障することが判明した。そのため空気層がない封入レンズ型でありながら高い反射輝度が期待できるスーパーエンジニアリンググレード(図3、反射輝度 $140\text{cd}/\text{lx}/\text{m}^2$ (白)観測角 12° 入射角 5°)を採用した。

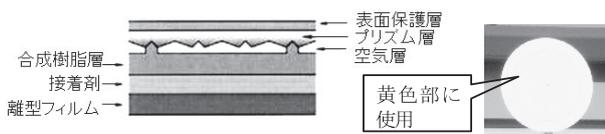


図2 クリスタルグレードの構造図

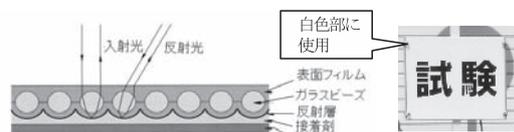


図3 スーパーエンジニアリンググレードの構造図

(3) 取扱いが容易なソーラーパネルと二次電池の使用

前述のとおり、今回試作した徐行信号機にはLEDを点滅させるための電源が必要となる。当初は充電型電池の採用も考えたが、作業員の充電失念によるLED滅灯防止を考慮して、電源には低コストのソーラーパネル(重量 0.6kg (コード含む)、発電能力 $9\text{V}/200\text{mA}$)を採用し、屋外設置時に電力を供給できるようにした。しかし、ソーラーパネルのみでは雨天や夜間時に電力が供給できないため二次電池として大容量の蓄電池を採用した(重量 2.9kg)。この蓄電池は仮に雨天などソーラーパネルから電力が供給されない場合でも満充電状態から理論上25日間LEDを点滅させることができる。また、これらについては主に電化柱に設置することを考慮した設計としているが、実際に設置する保守係員の負担をできるだけ小さくするように小型軽量化を図った(図4)。

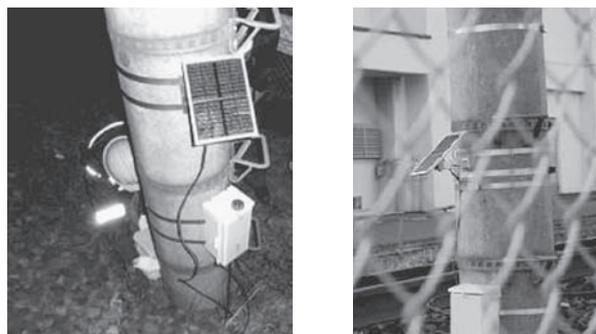


図4 ソーラーパネルと蓄電池取付状態

3.2 現地確認試験

試作した徐行信号機について、運転士からの視認性を確認するために、以下の要領で現地確認試験を行った。

- (1) 日時 2009年3月6日～3月12日
- (2) 場所 京浜東北線(南行) 蕨～南浦和間
- (3) 方法 試作したLED形と高輝度形(信号機部分にダイヤモンドグレード使用)を図5のように設置し、運転士に対してアンケートを行った。

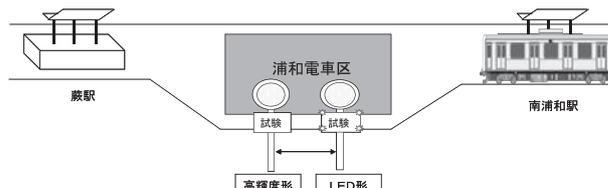


図5 試験概要図

また当区間を選定した理由は、当該線がD-ATC区間であるため通常時に地上信号を確認する機会がないこと、三複線区間であるが平行している東北旅客線との間には浦和電車区があるため、ほかの線の運転士からは見えず、ほかの線

区に影響をおよぼさないことによる。

3.3 試験におけるアンケート結果

3.3.1 アンケートの方法

運転士に対するアンケートについては、LED形と高輝度形双方について主観的に視認性を評価してもらうこととした。アンケートの様式については、本社運輸車両部と検討し、駅での停車時間など短い時間内で記入してもらうことを考慮して、質問を「気づきやすいか」「見えやすいか」の2点に絞り、評価段階も気づきやすさを例にとれば「すぐに気づいた」「どちらかといえば気づきやすい」「どちらかといえば気づきにくい」「気づきにくい」の4段階とし、「どちらともいえない」を排除してどちらかの評価に回答を誘導させるようにした。また同時に時間帯（朝、昼、夕、夜間）と天候（晴、曇、雨）を記入してもらうこととし、それらの要因によって評価に影響があるかどうかを調査した。また自由筆記欄を設けて、率直な意見を記載できるようにした。

3.3.2 アンケートの結果

調査期間中約360名からの回答を得ることができた。前述のとおり時間帯別と天候別を分けて集計を行ったが、結果を見ると天候別には大きな差は認められず、時間帯別に評価の差が見られた。時間帯別にまとめたのが図6（気づきやすさ）および図7（見えやすさ）である。

まず気づきやすさについて、試作したLED形は昼間時を除いて「すぐに気づいた」「どちらかといえば気づきやすい」がおおよそ80%を占め、気づきやすいという評価が得られた。特に夜間については約90%の運転士から気づきやすいという回答であった。しかし、昼間の時間帯については「気づきにくい」「どちらかといえば気づきにくい」という回答が約40%にのぼるなど比較的多くなっており、屋外の照度が高いときのLEDの気づきやすさという点では課題が残った。

一方、試作した高輝度形については、「すぐに気づいた」「どちらかといえば気づきやすい」が30%~50%程度にとどまった。これは形状が既存の徐行信号機と相違がなかったことと、今回の試験では約200m間隔でLED形と高輝度形の試験用徐行信号機を建植していたため、LED形と比較される形で評価がやや下がったということが考えられる。

見えやすさの評価については、「気づきやすさ」の評価と同様な傾向が見られた。LED形と高輝度形を比較すると、LED形の方が見えやすいという結果になっているが、夜間時の見えやすさに比べると昼間時の見えやすさはやや劣っている結果となった。高輝度形については「はっきり見える」「ど

ちらかといえば見えやすい」が30%~50%程度にとどまった。

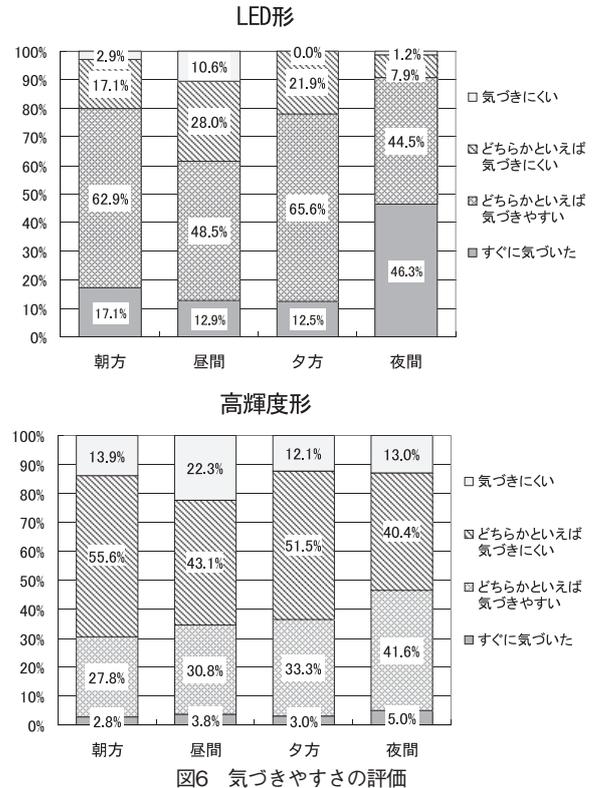


図6 気づきやすさの評価

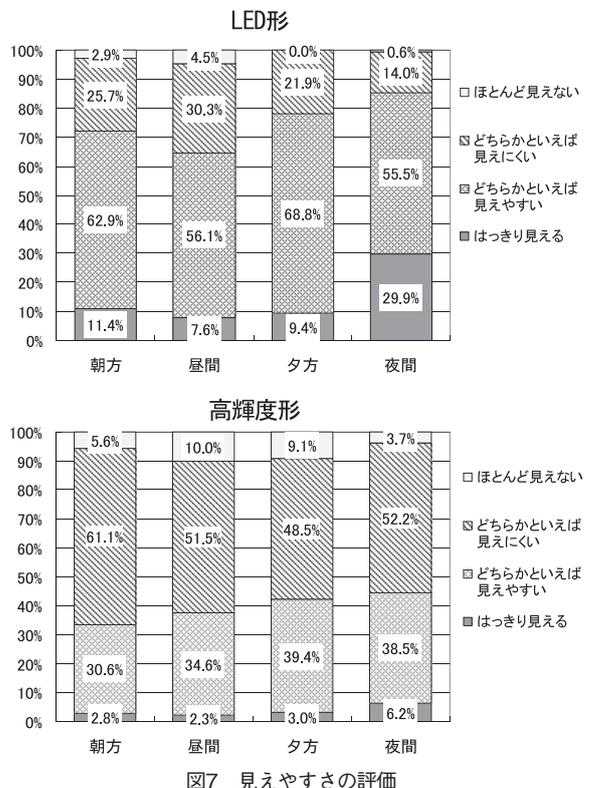


図7 見えやすさの評価

また、臨時信号機を設置する保守係員からも意見を集約した（表1）。LED点滅のための電気回路が必要となるLED形については、運搬時のLED破損の懸念、信号機本体のほかにソーラーパネルとバッテリーを設置しなければならないことに加え、

運転士に対する視認性確保のため直進性が高いLEDの光の方向調整が難しいのではないかと意見があった。

表1 保守係員へのアンケート結果

保守係員の主な意見 (抜粋)
・ 運搬時のLED破損防止のため、取外しのできた方がよいのではないかと
・ LEDは視野角が狭く設置角度の調整が難しい
・ 乗務員からLEDが見にくいとの申告が多くなるのではないかと
・ バッテリー切れによる対応が発生する
・ 建植時にこれまで以上に手間と時間がかかる

3.4 試験結果を受けての改良

京浜東北線での試作した徐行信号機に対するアンケートより、夜間など照度が低い場合はLEDの点滅による方法が有効であるが、照度が高い昼間時においては「すぐに気づいた」「はっきり見える」の評価が夜間より低いことから、昼間時の視認性向上に向けた改良が求められた。また保守係員からの意見にもあるように、運搬時のLED破損およびLEDの視野角による特性より設置時の角度調整の懸念があることから、LED改良の必要性があった。

そこで上記課題を解決するために以下のような改良を行った。改良型の写真を図8に示す。まず昼間時の視認性向上については、発光面積と視野角拡大のため、LEDの前面に拡散用のレンズを設置した。LEDの数についてもこれまでの青色4個から青色4個、白色4個の8個に倍増し、さらに4個ずつをまとめて専用ケースに搭載し、速度表示板上部に設置することで発光面積の拡大を図った。その結果照度は光源より10cmの距離で青色LEDが1,600lx、白色LEDが2,200lxと大幅に向上した。また点滅周期もこれまでの1Hzから5Hzとし、連続消灯時間の短縮と運転士の目に入る刺激の向上を図った。LEDに供給する電力を改良前と同等とするため、LED1灯あたり1/40秒点灯、7/40秒消灯のパターンとした。点灯時間が短く思われるが、点滅周期が早いことと光の残像効果のため、数字以上に点灯している時間があるように感じることができる。



図8 改良型LED装置

またLEDケースは速度表示板背面のスライドチャンネルとボルト一本で設置することができ、容易にLEDの脱着ができるような設計とした。

3.5 成田線での試験概要

前項のとおり改良を行ったLEDの視認性を確認するために、再度本線での現地確認試験を以下のとおり行った。

- (1) 日時 2009年7月7日～7月13日
- (2) 場所 成田線 成田～堀之内(信)間
- (3) 方法 改良したLED形と高輝度形（信号機部分にダイヤモンドグレード使用）を図9のように設置し、運転士に対してアンケートを行った。

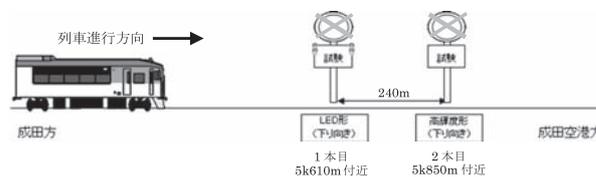


図9 試験概要図 (成田線)

図10に改良型LEDを取付けた試験用徐行信号機を示す。また同区間を選定した理由は、弊社管内での在来線最高速度である130km/h走行の列車があり、高速列車からの視認性が確認できるためである。なお試験結果については(財)鉄道総合技術研究所人間工学研究室の協力を得ながら現在解析を進めているところである。



図10 改良したLED型試験用徐行信号機

4. おわりに

LED形徐行信号機は一定の視認性向上の効果は得られているが、運転士に対しては昼間時の視認性向上、保守係員に対しては信号機本体のほかに電源装置を設置しなければならず作業工程が増加すること、電化柱がない箇所にも電源装置が設置できるような方策が必要なこと、万一LEDが消灯したときの運転側、保守側の取扱いを決めておく必要があるなど、実際導入するにあたっては解決すべき課題がまだ多く残されている。

最後になりますが(財)鉄道総合技術研究所人間工学研究室の方にはアンケートの実施と結果の評価にあたり、多くの助言をいただきました。ここに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 社団法人 日本建築学会；光と色の環境デザイン、オーム社、2001.6.