

⑤高速点滅光の明るさ感評価に関する研究

自動車安全研究部 ※加藤 洋子 関根 道昭 伊藤 紳一郎

1. まえがき

LED を光源とする前照灯が市場に投入されて既に10数年が経つ。この間にも、LED の高効率化や耐久性などの技術開発が進み、LED 前照灯の車両への搭載数は増大している。ここで、LED 前照灯の明るさを制御する場合、高速点滅させながら明・滅の割合(Duty 比)を変化させている場合がある。LED は入力電流を変えると光度と共に色度に変化するが Duty 比を変えても発光色に変化せず、熱の影響も緩和されるという利点があるためである。

人間の知覚においては、閃光のようなフラッシュ光をより明るく感じると言われているが(Broca - Sulzer 効果)、その点滅がはっきりと認識されない場合には、時間的に平均された光強度によって明るさを感じる(Talbot - Plateau 効果)と言われてきた。

そこで、LED 前照灯と同じ発光原理の高輝度白色 LED チップを使用して、人間の明るさ感に対する時間積分の効果(Talbot - Plateau 効果)について検証することを目的に、定常光と点滅光を比較することにより両者の関係を求めた。文献¹⁾では、被験者は視認試験経験者4名としたが、今回光源の提示方法を改良し、一般の被験者を対象に明るさ感評価実験を実施した。

2. 実験方法

2. 1. 実験条件

暗室内に視角 0.1 度の点光源刺激を左右に並べて2つ提示した。実験装置の概要を図1に、実験状況を図2に示す。光源はどちらも同じ高輝度白色 LED で、ピーク波長が 444nm の青色 LED が黄色い蛍光体を通して白色になるもの(図3)を用いた。被験者は10m離れた地点からこれら2つの点光源刺激を同時に観測した。2つの点光源刺激の内1つは、実験条件に応じて点灯電圧、点滅周波数、Duty 比を変化させて点滅させる刺激光として用いた。もう1つは、参照光として連続点灯させ、被験者の応答によって点灯電流を

変化させることにより光強度を変化させた。光源周辺はほぼ暗黒としたが、被験者の手元付近はキーボード操作をしやすいように、間接照明を用いて照明し、必要最小限の明るさを確保した。

刺激光は、明るさ感の Duty 比依存性と周波数依存性の両方を検討するため、点灯電圧を固定し、Duty 比として点灯時間の割合を10、20、40、80、100[%]の5条件、周波数を35、50、100、200、300 [Hz]の5条件とした。

被験者は運転に必要な視力を有しており、Duty 依存性実験は9名、周波数依存性実験は10名である。

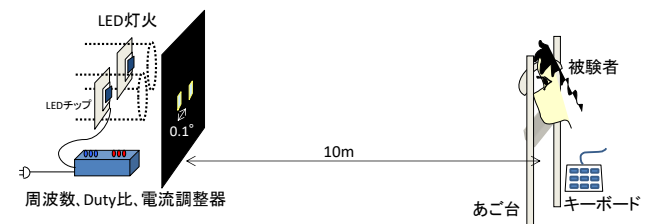


図1 実験装置概要



図2 実験状況

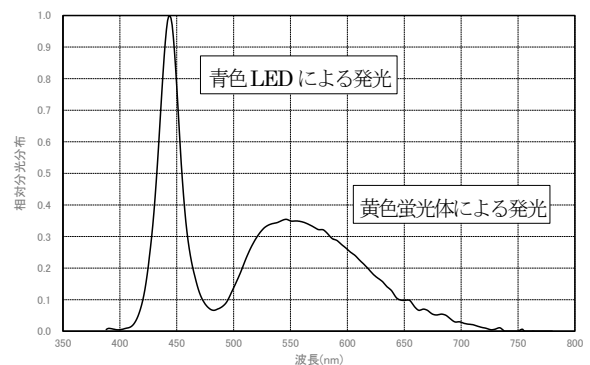


図3 高輝度白色LEDの相対分光分布特性

なお、本実験を実施するにあたっては、「独立行政法人自動車技術総合機構交通安全環境研究所における人間を対象とする実験に関する倫理規程」に基づいて、被験者に十分な説明を行うとともに被験者の同意を得て実施した。

2. 2. 実験手順

被験者はまず間接照明で薄暗く照らされた暗室内に約5分間順応した。その後、あご台にあごを固定し、提示される2つの点光源の光を観察した。被験者は左右の点光源のうち、どちらが明るいかわかるのは同じかを手元のキーボードで応答した。

まず、下降系列として、参照光の初期値を刺激光の平均値の1.5倍相当とし、次の参照光は1つ前の参照光の0.909倍となるように提示し、2回続けて参照光が暗いと回答したときに終了した。最後に参照光が明るいと回答したときの光強度と終了直前の1回目に参照光が暗いと回答したときの光強度との対数平均値（2個の数値の積の平方根）を取得データとした。次に、上昇系列として、参照光の初期値を刺激光の平均値の0.667倍相当とし、次の参照光は1つ前の参照光の1.1倍となるように提示することにより、同様に対数平均値を取得した。1つの刺激光の条件に対して下降系列と上昇系列を交互に3回繰り返し、計6個のデータの平均値を最終的な回答とした。

2. 3. LED 出力光の校正

点滅刺激光の校正では、点灯電圧、点滅周波数、Duty比の組み合わせによる実験条件ごとに、校正された高速応答型のシリコンフォトダイオードを使用してLED出力光を測定し、時間積分値を計算した。

また、参照光用の連続点灯LEDの校正では、同一のシリコンフォトダイオードを使用して点灯電流とLED出力光との関係について測定を実施した。

さらに、これらの校正を繰り返して実行することにより、時間変化がないことも確認した。

3. 実験結果

3. 1. 明るさ感の周波数依存性

被験者ごとに100Hzでの明るさ感評価で正規化した各周波数における明るさ感評価及び全被験者の平均値並びに回帰直線を図4に示す。この結果から、点灯電圧が一定の場合、周波数による依存性はなく、光強度の積分値が等しければ、明るさ感も同等となることが分かった。

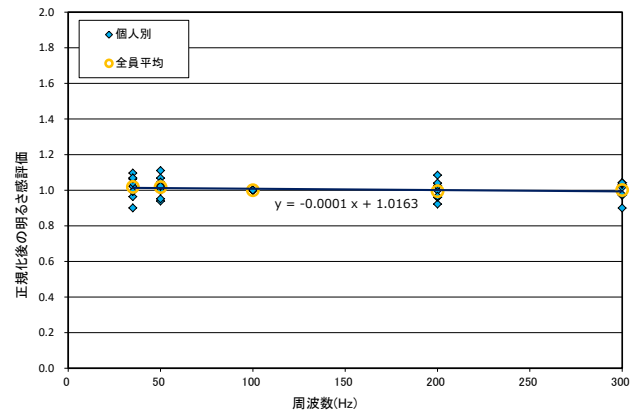


図4 明るさ感評価結果（周波数依存性）

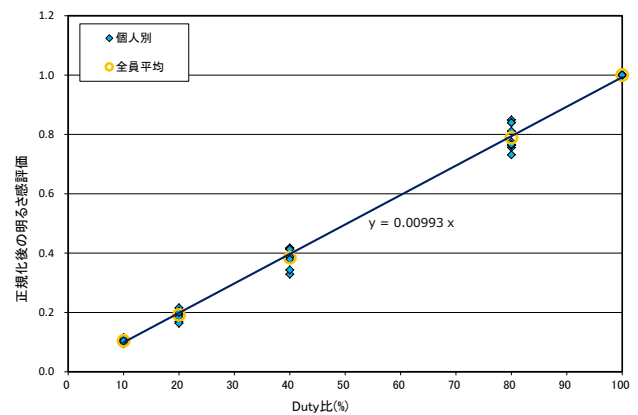


図5 明るさ感評価結果（Duty依存性）

3. 2. 明るさ感のDuty比依存性

被験者ごとにDuty比100%（連続光）での明るさ感評価で正規化した各Duty比における明るさ感評価及び全被験者の平均値並びに回帰直線を図5に示す。この結果から、点灯電圧が一定の場合、明るさ感 はDuty比に比例することが分かった。

4. まとめ

本実験は、刺激光の点灯電圧を変えた条件でも実施しており、LED前照灯においても、高速点滅光に対する明るさ感は、周波数、Duty比に依存せず、時間積分を行って得られる光強度とほぼ等しいというTalbot-Plateau効果が確認された。

従って、高速点滅するLEDやレーザー光源を搭載した自動車ランプの測定は、時間積分が正確に行えるような測定器により対応可能であることが分かった。

参考文献

- 岡田、塚田、伊藤，“高速点滅光の明るさ感測定に関する研究”，自動車技術会2016年秋季学術講演会，講演番号278，a161066（2016）