

# 実トンネルにおけるトンネル用LED照明装置の省エネ・低コスト評価

※山本 真義<sup>1</sup>

<sup>1</sup>島根大学 総合理工学部 電子制御システム工学科  
(〒690-8504 松江市西川津町1060)



トンネル照明装置に対するLED化への期待高まりに対して、道路照明施設設置基準を満たす照明装置の開発は遅れている。本報告では、まずトンネル用LED照明装置を新構築した。さらに新しく構築したLED照明装置が、トンネル内部でこの基準を満たすかどうかを判別可能なLED照明配光設計シミュレータを開発し、その有効性について実トンネルにおける照度・輝度測定との相対評価により、その実用性を示す。さらに本シミュレータを用いることで実際のトンネル内部における配光設計を行い、従来の高圧ナトリウムランプによる照明装置と新構築したLED照明装置との相対比較を行い、その有効性を示唆する。

キーワード トンネル照明, LED照明, 配光設計, 省エネ

## 1. まえがき

島根県内の全トンネルにおける照明装置の消費電力費用は年間2億円を超える。またこれに加えて、現在使用されているトンネル照明用高圧ナトリウムランプの寿命は14年であり、その交換サイクルにおける人件費等も含めると、トンネルにおける照明システムの維持管理は膨大なコストとエネルギーを必要とする。これらの問題点の根本的な解決法の有効な一手段として、LED照明装置の採用が挙げられる。トンネル内部の照明装置のLED化は、省エネ化、長寿命化と、これまでの問題点の両側面を同時に解決することが可能であり、その未来市場は非常に明るい。しかしながら、国土交通省が定める道路照明施設設置基準等の明確な規定要求がなされた場合、この要求を満たす配光設計を行う必要がある。この要求に対しては、大掛かりな実地試験が必要となり、配光設計におけるコスト増が懸念される。

本報告では、上記の配光設計をパソコン上で簡単に行うことが可能なLED照明用配光設計シミュレータを提案する。さらにその有効性を確認するため、実際にトンネル用LED照明装置を実構築し、それらを島根県の国道314号線上に位置する平田トンネルに設置し、照度測定実験を行うことにより、配光設計シミュレータの有効性を確認する。さらに本配光設計シミュレータを実トンネル内での配光設計に適用することにより、従来照明システムとの相対評価を行い、寿命の面、コストの両面において、提案するLED照明装置の有効性を示す。



図-1 構築したトンネル用LED照明装置 (概観写真)

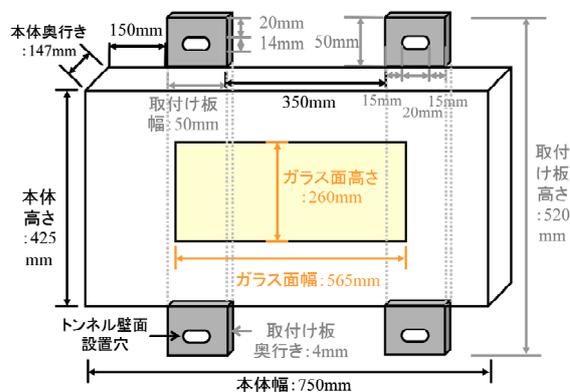


図-2 構築したトンネル用LED照明装置 (各寸法)

## 2. トンネル用LED照明装置

図1に新しく構築したトンネル用LED照明装置の概観を示す。本照明装置の仕様は下記の通りである。

- ・定格電圧：100～240[V]
- ・定格周波数：50～60[Hz]
- ・消費電力：38[W]
- ・LED発光素子数：144[個]
- ・グローブ材質：強化ガラス
- ・LEDモジュールメーカー：島根電子今福製作所

照明装置の筐体は従来の蛍光ランプ型照明装置とほぼ同等（双方とも縦：425mm、横：750mm）であり、奥行きは蛍光ランプ型照明装置が147mmであるのに対して、LED照明装置については105mmと、より小さく設計できている。図2にトンネル用LED照明装置の具体的な寸法図を示す。筐体開口部には跳ね石防止用の強化ガラスが取り付けられており、筐体接合部も耐水性を確保している。今回使用したLEDモジュールでは、LED発光素子1つに対して3個のLEDチップが搭載されており、2並列2直列で構成される。そのため発光素子の数は1モジュール上には24個、照明ユニット1台中には144個が存在する。1ユニット内部のLEDチップ配置の等価回路図を図3に示す。このLEDモジュールは低ノイズ型スイッチング電源により38[V]、1.08[A]で定常駆動を行っており、LEDチップ1個には30[mA]を流している。この駆動条件下で117lm/Wの性能を維持しており、非常に高性能な次世代型LEDモジュールであることが分かる。反射板は80°のすり鉢状の樹脂製を適用しており、1光源に対してそれぞれ配置されている。本報告においては、このトンネル用LED照明装置を5機構築し、それらを実トンネルに設置する。

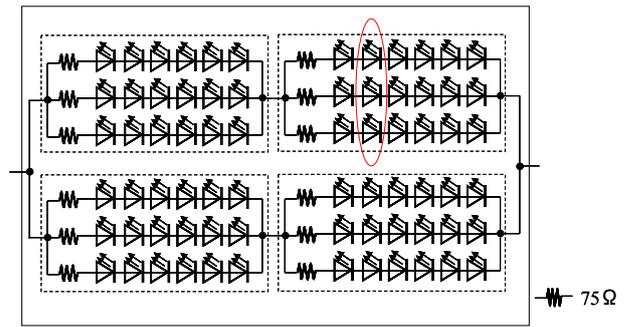


図3 LED照明モジュールの等価回路図

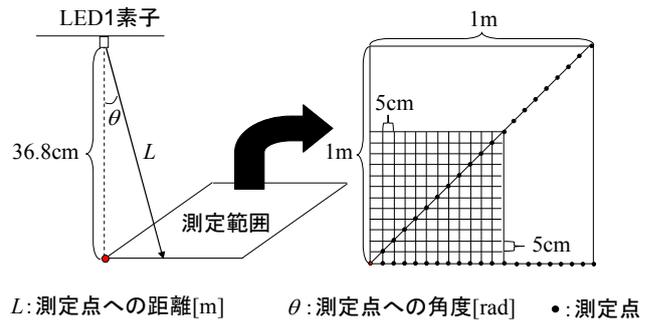


図4 LED点光源配光特性測定法

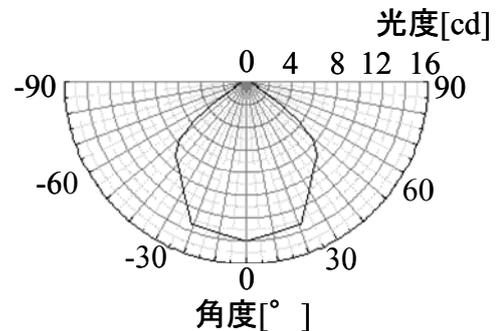


図5 LED点光源配光特性

## 3. 配光設計用シミュレータ

以下、前もって各機関によって定められた輝度等の基準を満たすための配光設計用シミュレータの概要を図説する。具体的には、(1)のLEDの1光源に対する配光特性を測定し、それをベースとしてどのような配置のLED照明装置においても自在に配光設計を行うことが可能となる。

### (1) 配光特性の測定

測定はLEDモジュール上の1個のみのLED光源からの照度を測定し、測定した照度をE[lx]とする。測定の際、LED発光体は図4のように高さ36.8cmの位置に配置した。そして照度の測定点は光源直下を原点として横方向を5cm間隔で1m先まで21点、斜め45°方向には1×1mの範囲の対角線上を約7cm間隔の21点とした。

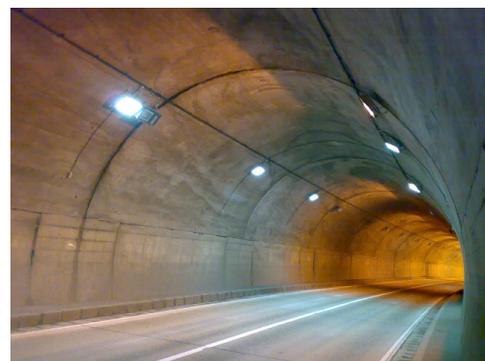


図6 LED照明装置5灯点灯状態（平田トンネル）

測定した照度  $E$  [lx]は(1)式により光度  $I$  [cd]へ変換することができる。

$$I = \frac{L^2 \times E}{\cos \theta} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $L$ は測定点への距離[m]、 $\theta$ は測定点への角度[rad]である。

測定した各測定点の照度を(1)式に代入することで角度 方向への光度 $I$ が計算できる。得られた結果を最小2乗近似することで光度近似式を作成することができ、任意の方向への光度 $I(\theta)$ を得ることができる。図5に1個のLEDの配光特性を示す。この1光源に対する配光特性をLED照明装置に用いられている点光源分だけ重ね合わせることで、どのようなLED照明装置においてもLED光源の配置が既知であれば、配光設計は可能となる。

## (2) 実トンネルでの照度測定との相対比較

構築した配光設計用シミュレータと実トンネルでの照度測定結果との整合性を確認する。

島根県雲南市、国道314号線にある平田トンネルにて構築したトンネル用LED照明装置を設置し、トンネル内で得られる照度の測定を行った。図5に平田トンネルにおける5灯点灯の様子を示す。

図7、図8にトンネルでの照明の設置位置を示す。照明は図7に示すように高さ5.2mの位置にトンネル内側に向けて29.4°の角度をつけて設置されている。また設置したトンネル用LED照明のユニット数は5基であり、これを図8に示すように4m間隔の千鳥配置で設置した。

この照明配置による実測の照度測定結果を図9に示す。全く同条件下における配光設計シミュレータによる照度計算結果を図10に示す。この時、配光設計シミュレータによって得た照度分布図は、8×20mの範囲に測定点を0.5m間隔で計861点とする。また実測側の測定の範囲は同じく8×20mとして2m間隔に計55点としている。

二つの照度分布図を比較すると、両者よく一致している。このことから1個のLEDの配光特性から144個の光源を内蔵する照明ユニットの照度を計算することが実現できている。実際、照度を比較しても実測と計算照度分布図で同一箇所の測定点同士では±5 lx程度の差が出た程度であった。これは照度のピーク値が約110 lxだったことから、そこから5%程度の誤差である。

また、両者の誤差は、計算照度では壁からなどの光の反射を考慮にいれていないこと、トンネルでの照明設置角度がそれぞれ実際にはそれぞればらつきがあることに起因すると考えられる。この整合性より本配光設計用シミュレータを用いての照度計算は、十分に設計に耐えうるものであると考えられる。次章にて、前述の平田トンネルにおける照明装置に今回構築したトンネル用LED照明装置を設置した場合の照度性能を確認する。

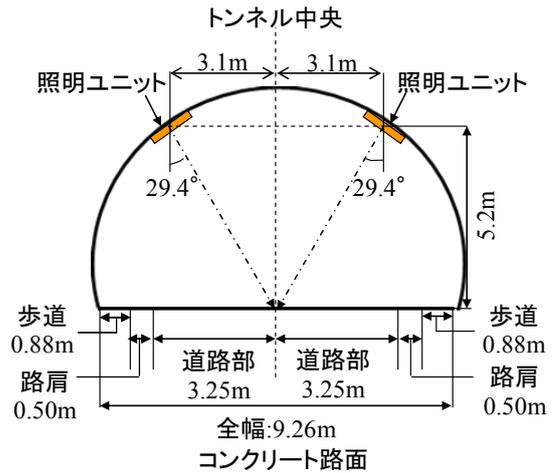


図-7 LED照明装置設置位置 (正面)

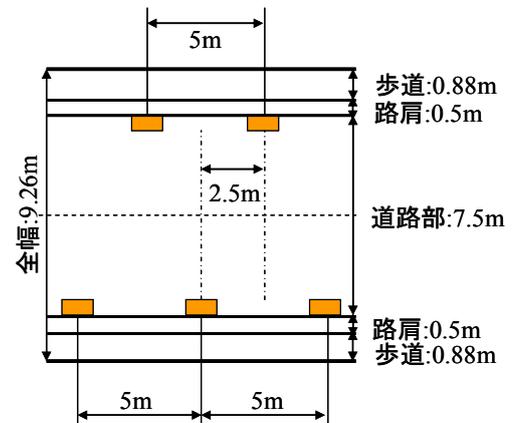


図-8 LED照明装置設置位置 (上側から)

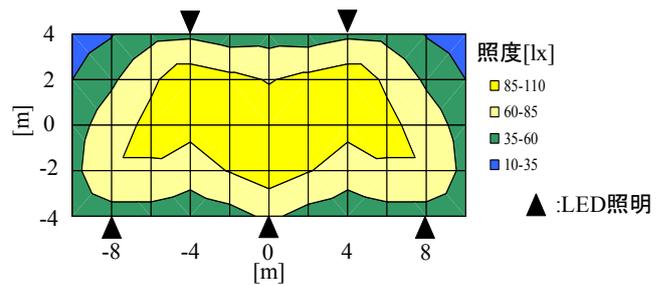


図-9 照度分布図 (実測)

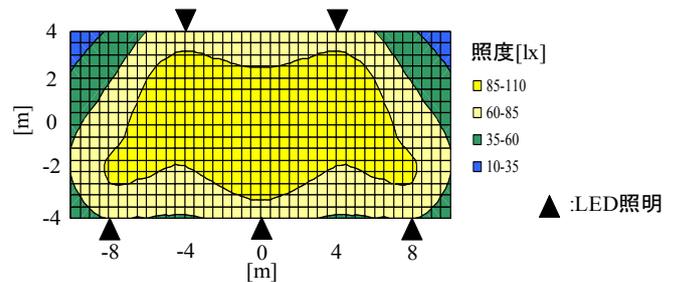


図-10 照度分布図 (配光設計用シミュレータ)

#### 4. 照明装置配置設計

以下、平田トンネルにおける実際の配光設計を構築した配光設計用シミュレータを用いて行い、その省エネ性能、低コスト化を確認する。

道路照明施設設置基準と照らし合わせた平田トンネル内部の平均路面輝度の基準表を表1に示す。実際には図11の様な輝度の設計基準曲線を元に設計が行われる。図11の横軸はトンネルの全長を示しており、縦軸は輝度をデシベル表記したものとなる。実際の照明装置の配置は、設計基準曲線を上回る状態で設置される。現在の平田トンネルにおいて実際の設計曲線で最も長い区間は、トンネル中央部の42.8mの部分であり、その区間における平均路面輝度は $4.04\text{cd/m}^2$ 一定として設計してある。

本設計手法を用いて、平田トンネル中央部42.8m区間における照明装置配置設計を行う。ここで表1には晴天時と曇天時の2パターンの輝度が掲示されているが、今回は最も厳しい条件である晴天時のみに着目した輝度を採用して設計を行う。

図12に、現在の平田トンネル中央部42.8m区間の照明装置配置図を示す。この配置条件下において平均路面輝度 $4.04\text{cd/m}^2$ を実現している。これに対して図13に、本設計手法を用いて決定した42m区間とした場合の照明装置配置図を示す。条件は、千鳥配置、照明装置の等間隔配置、の2つである。この配置条件下における平均路面輝度は $4.37\text{cd/m}^2$ を達成している。本条件下における設計において、ほぼ同じ42m区間内において、平均路面輝度の規定を満たすために必要な照明装置台数は実際と設計案ともに7台となり、コスト的にはほとんど変わらないことが分かる。しかしながら、次にランニングコストを考慮して評価を行う。

表-1 平田トンネルにおける配光設計基準

	境界部	移行部	緩和部
距離 (m)	25	65	171
晴天時路面輝度 (cd/m <sup>2</sup> )	21	13	1.2
曇天時路面輝度 (cd/m <sup>2</sup> )	11	7	0.6

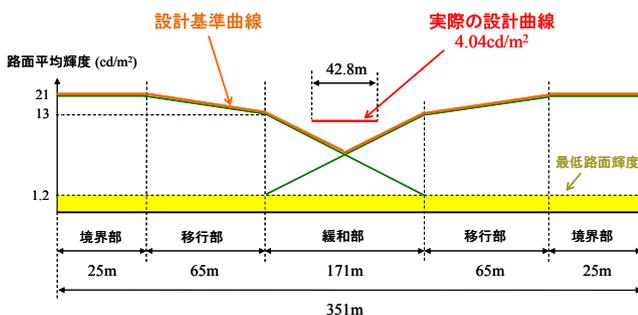


図-10 配光設計基準曲線 (平田トンネル)

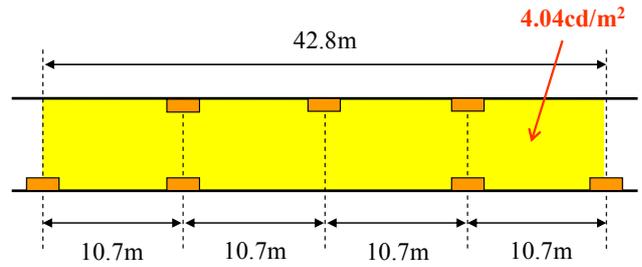


図-11 従来の照明配置図 (平田トンネル)

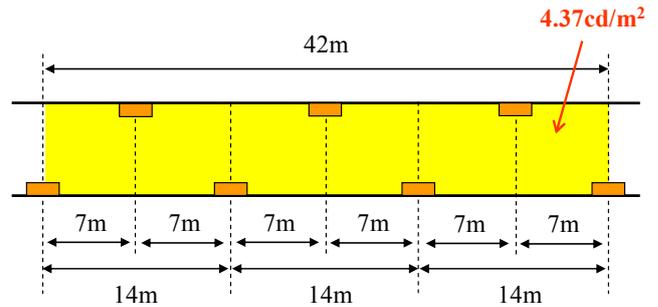


図-12 提案するLED照明配置図 (平田トンネル)

現在、平田トンネル内部に設置されている照明装置の定格消費電力は70Wである。これに対して今回構築した照明装置の定格消費電力は38Wとなり半分程度の消費電力で、ほぼ同等の輝度を確保していることが分かる。この時点においてもそのランニングコストの差、並びに地球環境への環境負荷低減効果が非常に大きいことが分かる。さらにパネルの寿命についても考察を行う。現在の照明装置の寿命は1.4年 (12,000時間) と設定されている。これに対して、今回構築したLED照明装置の寿命は5年と非常に長くなっている。これらの交換サイクルを考慮したエネルギー、コストを考慮すると、本提案LED照明装置の優位性は明らかである。

#### 5. 視認性評価

道路照明施設設置基準に対する本LED照明システムの優位性は明らかとなった。しかしながら、実際に通行する人間の安全性確保が最重要視されるべきである。その最も効果的な評価方法として、実際に数十名単位の人間に対して視認性に対するアンケートが挙げられる。今回は20名の成人に対して視認性について歩行時と自動車運転時の2パターンにおけるアンケートを行った。試験方法として、図13の様に6名の成人に青、赤、黄、緑、黒、白のナイロン製ジャンパーを着てもらい、照明中央部へ立ってもらった。この状況で30m程度離れた場所から20名の観察者に6名を見てもらい、その判別のし易さ (視

認性) に対する評価を行ってもらう。

図14に歩行時におけるLED照明装置5灯点灯時、図15に従来高圧ナトリウム照明点灯時における視認性のアンケート結果を示す。この結果より、LED照明装置における視認性の優位性は明らかである。従来高圧ナトリウム照明は、トンネル全体を点灯させていたにも関わらずこの結果となっており、わずか5灯でこれだけの性能が得られることは特筆すべき点であろう。この視認性はトンネル内の歩行者の確認に重要なウェイトを占める要素であり、安全性確保の観点からも非常に重要視されるべきポイントである。運転時においてもほぼ同等のアンケート結果が得られており、道路照明施設設置基準では見えてこない"本当の安全性"についても、従来方式よりも遙かに良い結果が得られている。



図-13 視認性に対する評価方法

## 6. まとめ

本報告では、白色LED照明装置について5基の構築を行い、それらの平田トンネルにおける実地評価により、十分な実用性があることを確認した。それらの評価結果より、輝度、ランニングコスト、環境負荷、安全性の全ての面における優位性の確認ができた。

本照明装置により、島根県独自の技術での製品化につながり、それらが地域活性化に寄与し、島根県の発展の一助とならんことを願う。

**謝辞：**本研究は都市エリア事業の一部として評価を行った。この実地試験の機会を与えて頂いた、島根県関係者の皆様、LEDモジュールの提供を頂いた島根電子今福製作所様、設置に関して多大なるご協力を頂いた島根電工様、株式会社コスモブレイン様、共同研究者である岡山大学の舩曳教授、都市エリア統括責任者である島根大学の藤田教授に大いなる謝意を表したい。

### 参考文献

- 1) 青木靖：「トンネル照明省エネルギー化に関する検討」，福井県雪対策・建設技術研究所年報地域技術，Vol.19，pp.43-49，(2006)。
- 2) 清水恵一：「LED 照明用電源について」，電子情報通信学会技術研究報告，EE，電子通信エネルギー技術 106(233)，PP.1-4，(2006-9)

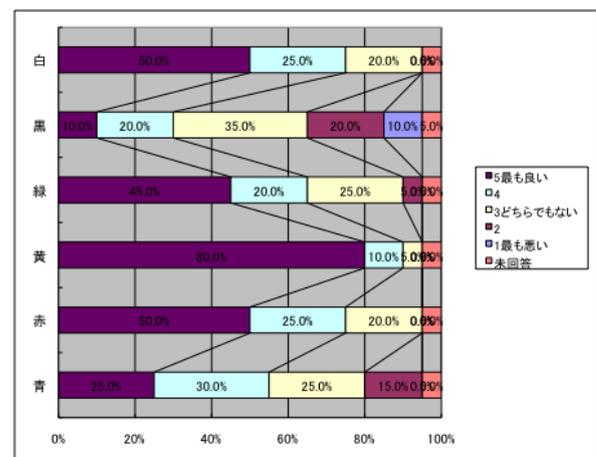


図-14 視認性 (LED照明装置5灯)

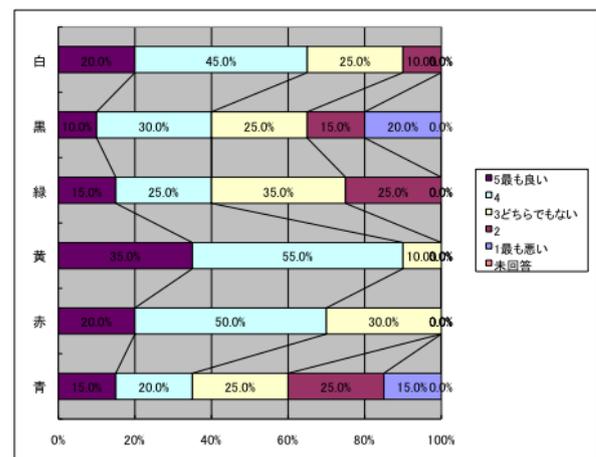


図-15 視認性 (従来高圧ナトリウム照明)