

LED 道路照明器具「LEGA JR3200 シリーズ」 の開発

Development of LED Luminaires for Road Lighting “LEGA JR3200 series”

田 中 貴 之* 京 藤 伸 弘* 森 川 敬 司*
清 水 政 宏* 坂 口 茂*

Takayuki Tanaka Nobuhiro Kyoto Hiroshi Morikawa
Masahiro Shimizu Shigeru Sakaguchi

Abstract

Using light emitting diodes “LED” as a light source, the luminaires “LEGA JR3200” series for road lighting have been developed. With these series of instruments, eighteen kinds of luminous intensity distribution pattern have been succeeded in realization by using only three types of newly designed lens. Comparing with the conventional mercury lamp, the maintenance costs have been reduced much more accompanying with five times longer lifetime and 76% energy saving.

Key words: LED luminaires, Long life, Energy saving

1 はじめに

G Sユアサは、1940年に国内で初となる水銀ランプの開発に成功し、1960年代にはメタルハライドランプや高圧ナトリウムランプを市場に投入してきた。このようなランプはHID (High Intensity Discharge) ランプと呼ばれており、2000年には、世界初となる中容量 (220および360 W) のセラミックメタルハライドランプ「エコセラ」を開発し、翌年に平成13年度 省エネ大賞の経済産業大臣賞を受賞した。「エコセラ」は、水銀ランプに比べ効率で約2倍、寿命で

約2.3倍の高性能なランプであり、道路照明用としてHIDランプ照明器具に収納されて、高速道路や一般道路に採用されている。

この数年間、発光ダイオード (Light Emitting Diode, 以下“LED”という)の研究開発が大きく進展し高性能なLEDが入手できるようになってきた。東日本大震災による電力不足のもとで、高効率・高出力化したLED照明器具を積極的に利用すべく、2011年に国土交通省から「LED道路・トンネル照明導入ガイドライン (案)」(以下、ガイドライン)が発行された。このような社会状況を踏まえて、LED道路照明器具「LEGA JR3200シリーズ」の開発を行ったのでここに報告する。

* 産業電池電源事業部 ライティング本部 製造部
照明設計グループ

2 道路照明への要求事項

道路照明は、運転者に夜間の道路状況や交通状況を把握させ、状況変化を容易に予測できるような視覚情報を与える役割を担っている。障害物や他の車両および歩行者の発見には、ヘッドライトよりも効果が高いとされており¹、視野の拡大、見通しの向上および視線誘導などにおいて優れた効果を求められている。

道路照明には、大きく分けて道路に沿って設置される連続照明と交通の流れが局所的に複雑になる交差点や横断歩道に設置される局部照明がある。

連続照明に要求される光学性能は、路面の明るさ、明るさのムラ、まぶしさの規制、誘導性の4項目であり、最初の3項目は、路面輝度^{*1}、輝度均斉度^{*2}、視機能低下グレア^{*3}としてTable 1～3に示すとおり規定されている²。路面輝度、輝度均斉度および視機能低下グレアは、道路の重要度や交通量に応じて要求内容が異なり、路面輝度は3段階(1.0, 0.7, 0.5 cd/m²)、輝度均斉度は2項目(総合均斉度と車線軸均斉度)、視機能低下グレアは2段階(15,10%)が規定・推奨されている。誘導性は、照明器具の高さ、配列および間隔を考慮することで発現するよう規定されている。

局部照明に要求される光学性能は、路面の明るさおよび明るさのムラであり、Table 4のとおり路面照度^{*4}および照度均斉度で規定されている。

このほか、屋外での長期間の使用に耐えるため、振動や衝撃等に対する機械的強度、感電や漏電等を回避する電気安全性、使用環境に適合する環境性能等の要求事項がある。

3 開発したLED道路照明器具「LEGA JR3200シリーズ」の特長

今回開発したLED道路照明器具は、連続照明および局部照明に要求される条件を満たし、長寿命で省エネルギーな製品であり、外観をFig. 1に示す。

*1 路面輝度：路面に入射した光束が反射し、運転者から見た路面の明るさ。

*2 輝度均斉度：輝度分布の均一の程度を示すもの。

*3 視機能低下グレア：対象物の見え方に悪影響を与える光源のまぶしさ。

*4 路面照度：対象となる路面に入射する光束を路面の面積で割ったもの。

*5 配光：照明器具から発する光の広がり方。

3.1 光学特性の実現

連続照明の照明範囲は、車線数により異なり2車線から広い道路では6車線以上になる。また、歩道の有無により要求される出力と配光^{*5}が異なる。局部照明では、交差する道路の車線数や横断歩道の有無により連続照明と同様に要求される出力と配光が異なる。このように道路照明は、道路条件によって要求さ

Table 1 Average luminance on the road surface.

Classification		(In unit of cd/m ²)		
		Surroundings [*]		
		A	B	C
Expressway		1.0	1.0	0.7
		-	0.7	0.5
National highway	Principal trunk road	1.0	0.7	0.5
	Trunk road / Sub-trunkroad	0.7	0.5	0.5
		0.5	-	-

* Surroundings denote the cases under conditions as follows;

- A...Existence of successive interference of ambient light along the road
- B...Existence of scattered interference of ambient light along the road
- C...Existence of almost no interference of ambient light along the road

Table 2 Uniformity of luminance on the road.

Classification of road	Overall [*] uniformity	Longitudinal ^{**} uniformity
Expressway	More than 0.4	More than 0.7
National highway	More than 0.4	More than 0.5
Principal trunk road		
Trunk road / Sub-trunk road	More than 0.4	-

* Values of minimum/average of luminance at the road surface.

** Values of minimum/maximum of luminance along the axis at the center of lane.

Table 3 Glare bringing degradation of eyesight.

Classification of road		(In unit of %)
		Increment of relative threshold
Expressway		Under 10
National highway	Principal trunk road	Under 15
	Trunk road / Sub-trunk road	Under 15

Table 4 Quality criteria of lighting at crossroad.

The amount of traffic by vehicle and pedestrian	Standard	Little
Average illumination at road surface (lx)	Around 20	Over 10
Uniformity of illumination [*]	Around 0.4	-

* Minimum/average of illumination at the crossroad.

れる光学性能が多岐にわたるため、これらの条件を満足するためには、数十種類の道路照明器具が必要になる。これまでの HID ランプの場合は、数種類のランプと照明器具の組合せで対応できたが、LED 道路照明器具の場合は、LED を器具に固定した一体構造とするため、機種を多数そろえる必要があった。そこで、最小限の部品で多種の要求に対応できるよう部品の共通化に配慮した開発を行った。

配光の制御には主に 2 方式があり、LED を立体的に配置し反射板による制御方式と、LED を平面的に並べレンズによる制御方式がある。LEGA JR3200 シリーズでは、放熱性と生産性を考慮し、後者の構造を採用した。Fig. 2 に標準的な照明器具の取付パターンを示す。直線型ポールあるいは長円形ポールに取付け、取付高さは 8、10、および 12 m を選定するのが一般的である³。

照明器具はどの位置に取付けられても要求される条件を満たす必要がある。配光を決定する場合、照明器具の取付高さや道路方向への出幅の組合せにより光の照射範囲が異なるので、それぞれの組合せに専用のレンズが必要となる。そこでレンズを組合せることにより照射範囲を変えることができるように、連続照明用に標準照射型レンズおよび前方照射型レンズ、局部照明用に交差点照射型レンズの計 3 種類を開発した。Fig. 3 に各レンズの配光イメージを示す。

標準照射型レンズは、車道に近接した歩道に設置し、車道と歩道の両方に照射でき、道路横断方向には均一、縦断方向には横広りの配光を有するものとした。前方照射型レンズは、車道から離れた歩道の奥側に設置し、車道だけに光を照射し、道路横断方向に均一、縦

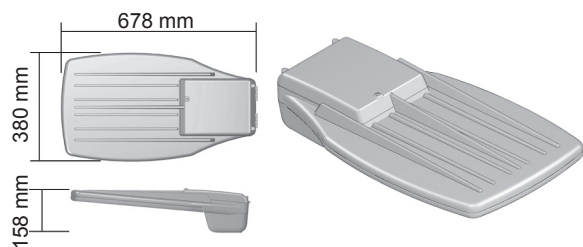


Fig. 1 Outward appearance of LED luminaires "LEGA JR3200 series".

*6 光束：単位時間あたりの放射エネルギーを目の感度に対応する量で評価したもの。

断方向に横広りの配光を有するものとした。交差点照射型レンズは、交差点の角（隅切り部）に設置し、横断歩道と歩行者などの待機場所を含む範囲を照射するものとした。Fig. 4 に交差点照明の配置例を示す。また、Fig. 5 は、標準照射型と前方照射型を組合せた場合の照射範囲を示す。

レンズは 3 種類のみであるが、照明器具内で各々を組合せて 18 種類の配光パターンを実現した。さらに照明器具の取付角度として 5°、10° および 20° を選定できるように構造設計した。この結果、LEGA JR3200 シリーズは、様々な道路の設置条件に柔軟に対応ができる光学性能を持つことができた。

3.2 長寿命

一般的に LED は、HID ランプのように不点灯にはならず、時間経過とともに光束^{*6}が徐々に低下し続ける。ガイドラインでは、60,000 時間（年間 4,000 時間点灯で、約 15 年）、光束維持率 70% を寿命としている⁴が、LEGA JR3200 シリーズでは、光束維持率 80% となる時点寿命とした。

LED の寿命を決める上でもっとも考慮すべき要因は LED の温度である。LED では、電気入力のうち光に変換される効率が約 30% であり、残りは熱に変わり LED の温度を上昇させる。温度が上昇すると、結晶構造が変化して早期に光束維持率が低下するため、LED の発熱を効率よく逃がし、所定の温度以下に保つことが重要である。Fig. 6 に放熱性能と寿命の関係を示す。

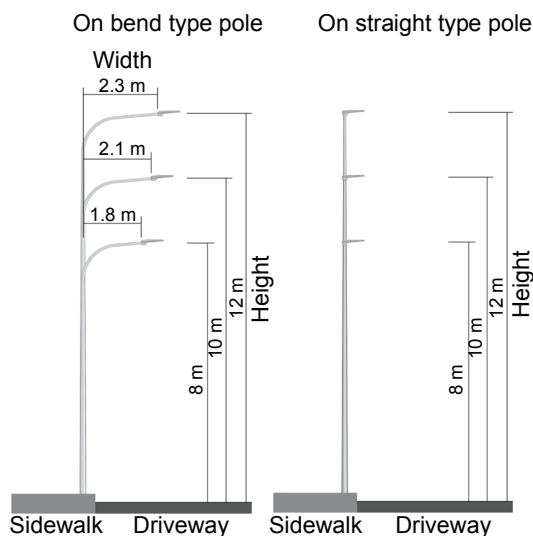


Fig. 2 The luminaires settlement on the two types of pole.

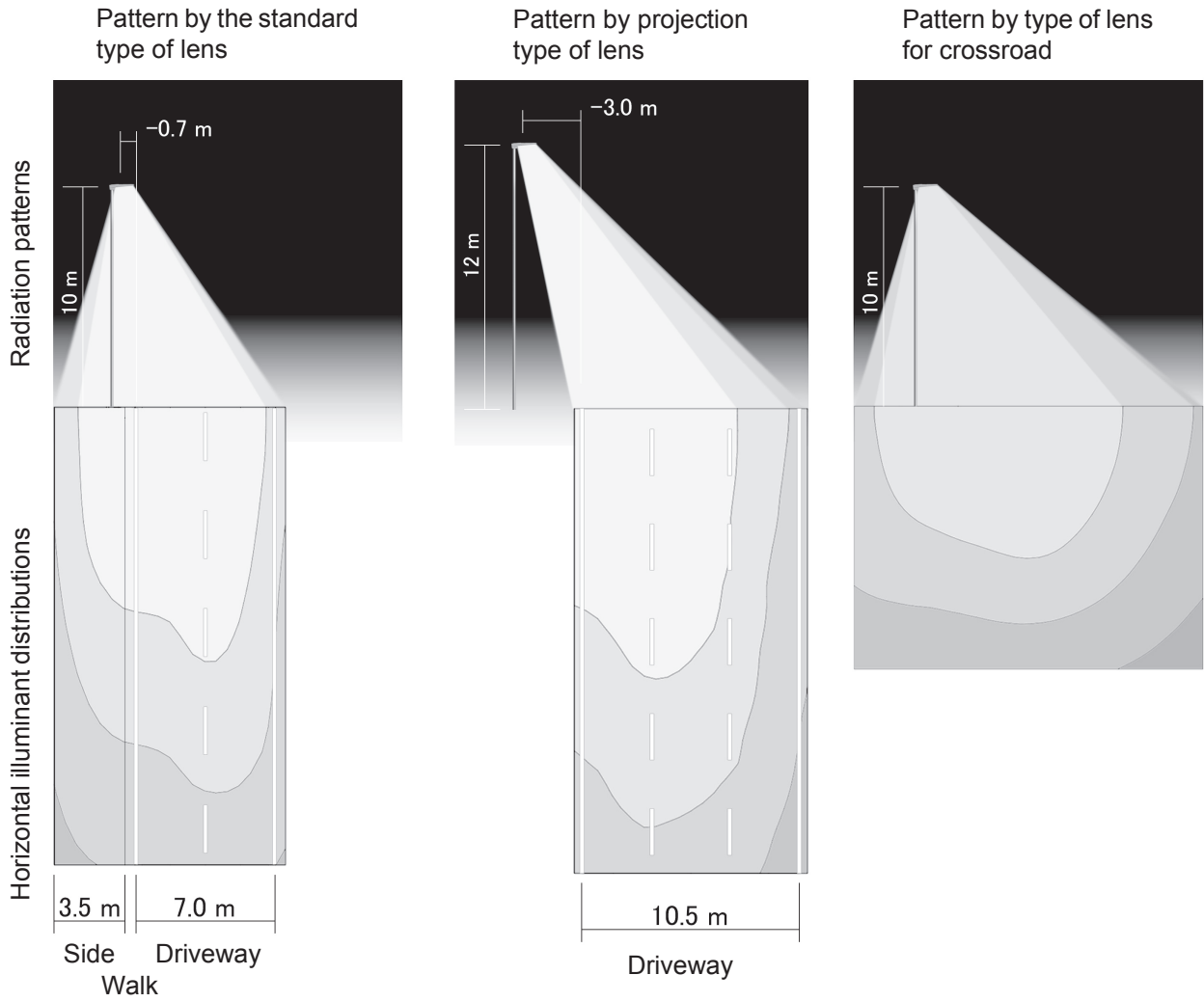


Fig. 3 Differences of luminous intensity distribution patterns among luminaires according to three types of lens.

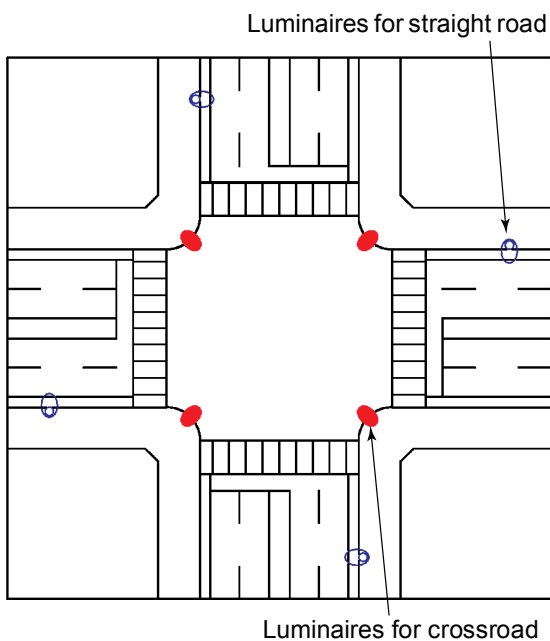


Fig. 4 An example layout of lighting instruments at the crossroad.

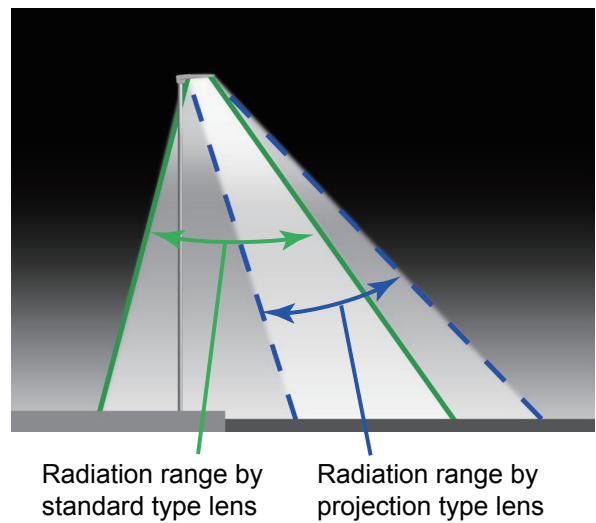


Fig.5 Radiation range by combination with luminaires according to the standard and projection type of lens.

高い放熱性能を得るため、LEDを熱伝導性の高いアルミ製の基板に実装し、さらにアルミダイカスト製の本体に直接取付けた。Fig. 7にレンズとLED基板の取付状態を示す。また、Fig. 8に示すように、本体の上部にリブを設け表面積を広げることで外部への放熱性を高めた。その結果、LEDを所定の温度以下に保ち、照明器具の寿命60,000時間（光束維持率80%）を実現することができた。従来光源のHIDランプの寿命は、水銀ランプで12,000時間、高圧ナトリウムランプで24,000時間であり、LEGA JR3200シリーズは、HIDランプより2.5～5倍長く、交換間隔が伸びメンテナンス費用が削減できる。

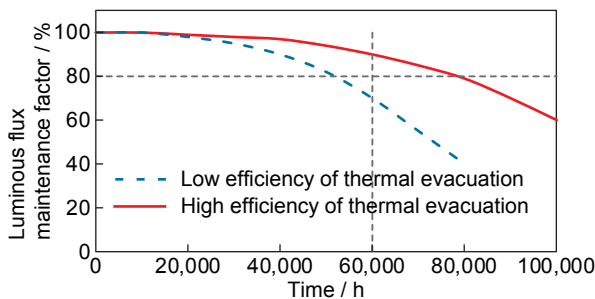


Fig. 6 Dependency of luminous flux on the efficiency of thermal evacuation.

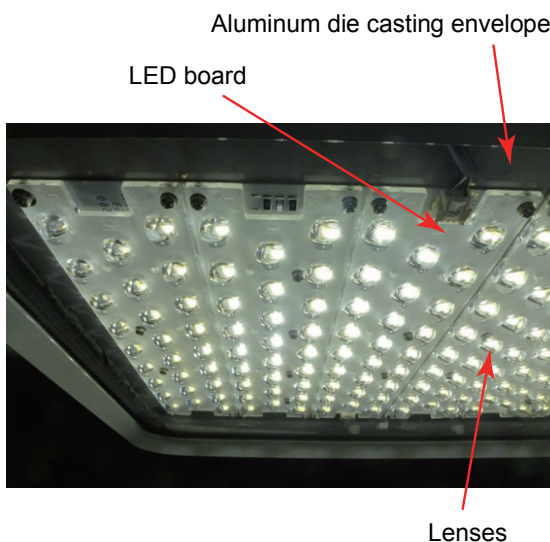


Fig. 7 The arrangement of an LED board with the lenses on the envelope.

*7 lm/W：光源の効率を示すもので、単位電力あたりの光束を示す。

3.3 省エネルギー

光源には、発光効率 140 lm/W^{*7}のLEDを採用した。道路照明用として主流である水銀ランプ 400 Wの発光効率は 55 lm/W、高圧ナトリウムランプ 220 Wでは 127 lm/Wであり 1.1～2.5倍発光効率が高くなる。

電源装置には初期照度補正機能を持たせた。これは初期には効率が高く余分な明るさがあるため80%の出力で点灯させても必要な照度を維持することができ、時間の経過とともに効率が低下していくため少しずつLEDへの出力を増加させる機能である。この機能によりLEDの寿命末期まで、必要な照度を維持することが可能となり消費電力を約10%削減できた。Fig. 9は、出力を制御した場合の消費電力の推移と削減率を示した模式図である。



Fig. 8 The ribs on the roof of envelope for thermal evacuation.

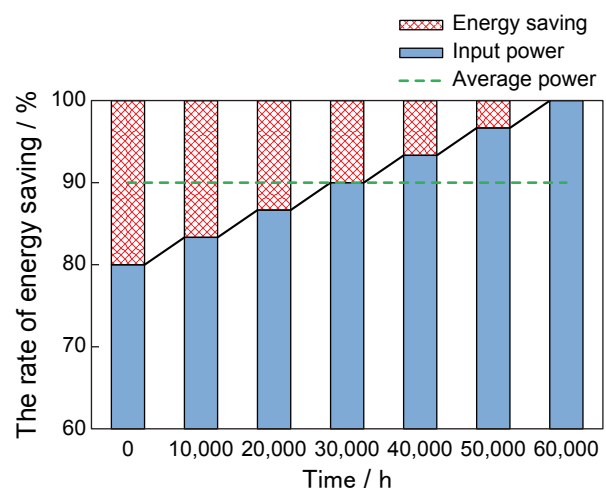


Fig. 9 Energy saving by adjustment function for regulated output radiation.

Fig. 10 に標準照射型使用による照射範囲を示すが、特に近年は光漏れによる環境悪化が指摘されており、照明範囲外への漏れ光を極力少なくすることが求められる。本製品では道路や歩道だけ有効に照射するようにレンズを設計しており、光漏れを抑えた光学性能も消費電力の削減に寄与している。

Fig. 11 に照明器具間の消費電力の差異を示す。LED は発光効率に優れ、初期照度補正、光学特性の向上でさらにその優位性を活かしたので、従来の照明器具の消費電力と比較すると、平均 98 W の LED 道路照明器具は高圧水銀ランプ 400 W と同等の明るさとなり、約 76% のエネルギー削減、高圧ナトリウムランプの場合では 220 W と同等の明るさとなり、約 58% のエネルギー削減を実現した。

4 LED 道路照明器具「LEGA JR3200 シリーズ」の構成

LED 道路照明器具は、本体、LED 光源部、電源装置で構成される。

4.1 本体

照明器具の本体やポールに接続するための支持金具として、放熱性のほかに、強度、防錆、耐食性に優れたアルミダイカストを採用した。

Fig. 12 に本体内の施工スペース部を示す。照明器具とポールの取付部は、万一緩んだ場合にも、大きく回転したり落下したりしないように落下防止構造を有している。ガイドラインではポールからの抜け防止の貫通ボルトおよび落下防止ワイヤー固定ボルトは、M6 以上と規定されているが、LEGA JR3200 シリーズの貫通ボルトは M8、落下防止ワイヤー固定ボルトは M10 に強化した。また、落下防止ワイヤーの固定位置は、従来の照明器具の実績を踏まえ、万一の灯体破損時にも耐えられるように施工スペースの最前部に設置した。施工時に使用するボルト類は、すべて施工スペース内にまとめて、部品落下の危険性を低減し、か

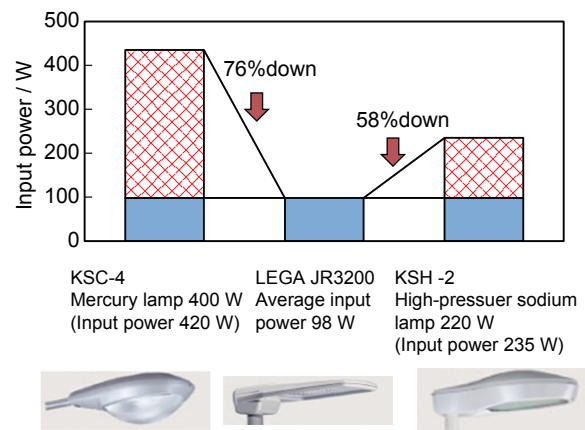


Fig. 11 Comparison of consumed electric powers between a LED luminaires and HID ones.

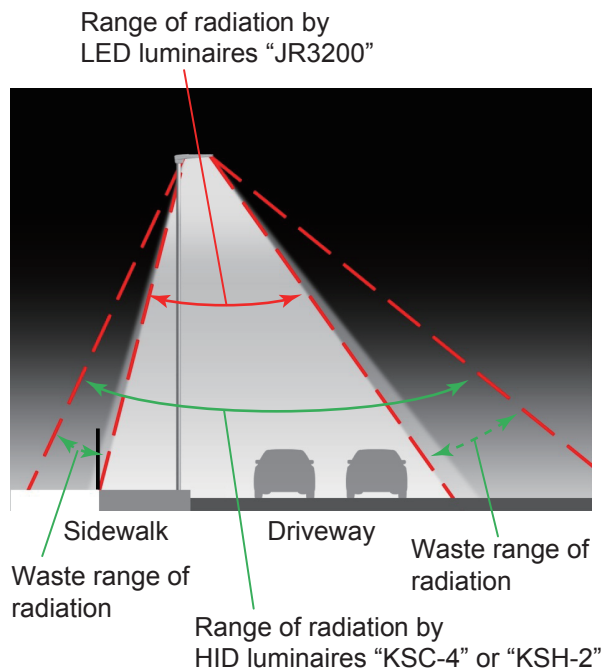


Fig. 10 Effective and waste ranges of radiation of light on the road.

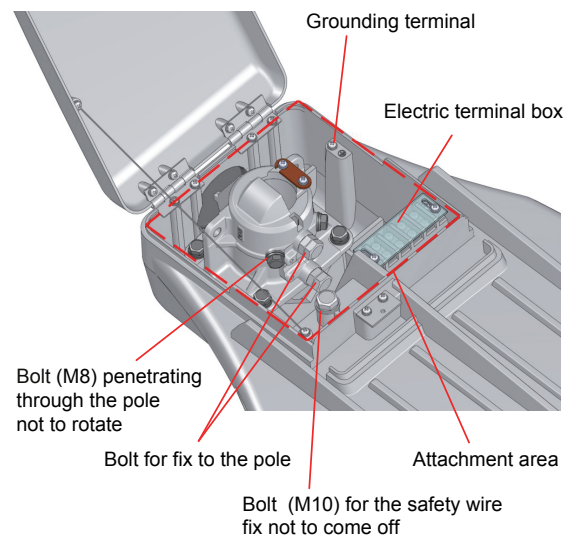


Fig. 12 Arrangement of parts in attachment area of luminaires.

つ施工性を向上させた。

照明器具形状も環境に対して、より有利性のある設計を取り入れ、受圧面積は正面方向 0.045m²、側面方向 0.055m²、質量を約 11 kg とした。正面および側面方向の受圧面積は従来の照明器具の 33～50% と減少したため風の影響を受けにくくなり、結果としてポールの基礎サイズを従来より小さくすることが可能となった。Table 5 には受圧面積比較を示す。

4.2 光源部

LED は静電気や埃に弱いため、施工時に誤って触れる恐れがないように LED 収納部と施工スペースは、分離した構造とした。また、LED 収納部は、IP44^{*8} の保護等級として設計し、雨水やじんあいなどの侵入による汚れを最小限に抑える構造としたことで、光学性能を長期間維持できるようになった。

レンズの材料は、耐熱性がよいポリカーボネート樹脂を採用し、紫外線による黄変劣化が少ない耐候性グレードを選択した。

LED の基板上への実装数は、60 個と 78 個の 2 種類とし、基板は器具に最大 2 枚まで搭載可能とした。

*8 IP44：じんあい、固形物および水気の侵入に対する保護等級を示す。

*9 グレア源：見え方の低下や不快感や疲労を生じるまぶしさを与える光源。

電源装置の電流値の制御と合わせて、器具光束 5,900～18,000 lm の範囲で 9 段階の出力調整を可能とした。

4.3 電源装置

電源装置は、ポール内に収納可能なサイズで、LED に対して安定的に電力を供給できるものを選定した。JIS C 61000-3-2：2011 に規定された高調波のクラス C（照明機器）の基準を満足し、耐雷サージは、コモンモード（対地間）で 15 kV、ノーマルモード（線間）で 2 kV に耐えられる性能を有している。

LED は瞬時点灯が可能であるが、運転者へのグレア源^{*9}にならないように配慮し、点灯時から約 10 秒かけて徐々に明るくなるソフトスタート機能も内蔵している。

5 LED 道路照明器具「LEGA JR3200 シリーズ」の性能

照明器具の性能を Table 6 に示す。

Table 5 Reduced cross-sectional area of envelope surfaces.

	Side area / m ²	Front area / m ²	Weight / kg
KSC-4	0.170	0.110	About 14
LEGA JR3200	0.055	0.045	About 11
KSH-2	0.110	0.070	About 10

Table 6 Performance of newly developed LED luminaires.

	JR3212, JR3213	JR3214, JR3215
Luminaires Settlement	Side mounting to straight type pole Top mounting to bend type pole	
Type of distribution of luminous intensity	18 types	
Protection class against water	IP23 (attachment area)	IP44 (LED unit section)
Materials	Body: Die casted aluminium, translucent cover: toughened glass	
Weight	About 11 kg	
Total luminous flux of luminaires	5,900 - 9,000 lm	10,500 - 18,000 lm
Average input power	49 ~ 75 W	83 ~ 152 W
Correlated colour temperature	5,000 K	
Colour rendering index	Ra 70	
Lifetime of LED	60,000 h (at luminous flux decreasing to 80%)	
Ambient temperature	-20 ~ 35 °C	
Power supply Attachment	Inside of a pole (in the case of larger than φ107.3)	
Voltage range	100 ~ 240 V	200 ~ 240 V
Lifetime	60,000 h	
Weight	About 1.1 kg	About 1.7 kg
Energy consumption efficiency	101 ~ 111 lm/W	107 ~ 112 lm/W
Lightning surge immunity	Common mode: 15 kV, normal mode: 2 kV	
Function	Luminous adjustment function, Gradual power increasing function, Step converting power (50%, 70%)	
Ambient temperature	-20 ~ 40 °C	

6 まとめ

光源としてLEDを採用し新たな設計法を導入することにより、HIDランプと同等の明るさを有し、かつ長寿命であり、設置条件に応じて柔軟に対応できるLED照明器具を開発し、メンテナンス費用および消費電力を削減した。今後LEGA JR3200シリーズのさらなる性能の向上とLEDの特長を活かした新たな照明器具の開発を行う予定である。

文献

1. 道路構造令の解説と運用, 日本道路協会, 611(2004).
2. 道路照明施設設置基準・同解説, 日本道路協会, 67(2007).
3. 道路・トンネル照明器材仕様書, 建設電気技術協会, (2008).
4. LED道路・トンネル照明導入ガイドライン(案), 国土交通省, (2011).