

災害対策用照明装置の開発

加藤 弘志

1. はじめに

災害が発生した場合、夜間における現場の状況監視や救助・復旧活動のために照明が必要になることがある。

災害の内容によっては既存の照明装置で対応可能なケースもあるが、河道閉塞の場合や大地震直後の余震が続く中で人員や機械が災害現場に接近できないようなケースでは、遠方からの照明となり、現状で対応できる照明装置はない。また、照明車が進入できないような不整地に対しても、十分な明るさを持って自走できる照明装置はない。

このような背景から、当研究所では国土交通省九州技術事務所の委託を受けて、二次災害が危惧される災害現場や、照明車の搬入ができない災害現場等において、夜間の監視及び復旧作業を迅速に行うことを目的として、遠距離照射能力と不整地走行可能な機動性を兼ね備えた災害対策用照明装置(図-1)の開発を行った。

本稿は、平成23～25年度の3ヶ年で開発を行った上記の照明装置について紹介するものである。

2. 災害対策用照明装置の概要

(1) 概要

本照明装置は、それ自身では移動の手段を持たず、災害発生時の出動要請を受けて現地までトラック等に

より輸送し、現地近辺でクローラキャリアに搭載する。

照明灯具は、広域を照らすLED照明灯と斜面崩壊や地すべり等の変状を遠方より監視するためのキセノン探照灯を装備している。これらの灯具を一体化して旋回・俯仰台と組み合わせて、伸張時には5mの高さになる伸縮柱の先端に取り付けている。また、動力源としてディーゼル発電機を搭載する。

照明灯具の操作は、有線または無線による遠隔操作が可能となっている。無線による遠隔操作は、100mの距離から伸縮装置及び旋回・俯仰台の操作、照明灯具の点灯・消灯が可能である。

(2) 照明装置の主な仕様

本照明装置の主な仕様は表-1のとおりである。

3. 光源の検討

(1) 光源の選定

多種多様な光源の中から、明るさ(全光束)、ランプ効率、大きさ等の面で優れるキセノンランプ、水銀ランプ、蛍光水銀ランプ、メタルハライドランプ、白色LEDを抽出して詳細検討を行った。

これらのうちキセノンランプは、省エネルギー効果や寿命の評価は低いが、照射距離が長く探照灯用光源として使用実績があるため、照明装置の光源の一つ(探照灯用)に選定した。



図-1 照明装置の活用イメージ

表一 1 照明装置の主な仕様

1. 照明灯具	
(1) LED 照明灯 2 灯	
出力	1,600 W / 灯
電圧	100 V
(2) キセノン探照灯 1 灯	
出力	1,000 W
電圧	100 V
2. 伸縮装置	
駆動方式	油圧式
最伸長さ	5 m 以上 (旋回・俯仰台軸心位置まで)
昇降速度	4 m/min 程度
3. 旋回・俯仰台	
駆動方式	電動式
連続旋回角度	360 度程度
最大俯仰角度	LED 照明灯 ± 90 度程度 キセノン探照灯 ± 30 度程度
4. 傾斜修正装置	
方式	手動スクリージャッキ
最大修正角度	10 度程度
5. 操作制御ユニット	
操作方式	有線・無線リモコン式
操作項目	照明灯具 点灯・消灯
	伸縮装置 伸長・縮小・自動収納
	旋回・俯仰台 回転・俯仰
6. 寸法及び質量	
長さ	1.55 m
幅	1.39 m
高さ (運搬)	2.16 m
高さ (作業)	5.13 m (運搬車両の荷台高さ除く)
質量	約 1,250 kg

キセノンランプを除く 4 種について、光源の明るさ (全光束)、ランプ効率、色温度、定格寿命のバランスを比較した。この結果、近年の進歩が著しく、特性バランスも良く堅牢で省エネルギー効果も期待される白色 LED と、これに次いで特性バランスが良く既存の照明装置の標準光源であるメタルハライドランプに絞り込んだ。

(2) 照射試験

照明装置の諸元を検討するため、上記 3 種の光源 (表一 2) について照射試験を行った。

試験は、当研究所テストコース内の長さ 315 m の平坦な芝生上で、地上 4 m の高さから水平に照射し、光源から 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, 80 m, 160 m, 315 m の地点における光軸中心の照度、及び 30 m 地点における水平方向照度分布を測定した。

表一 2 試験用光源

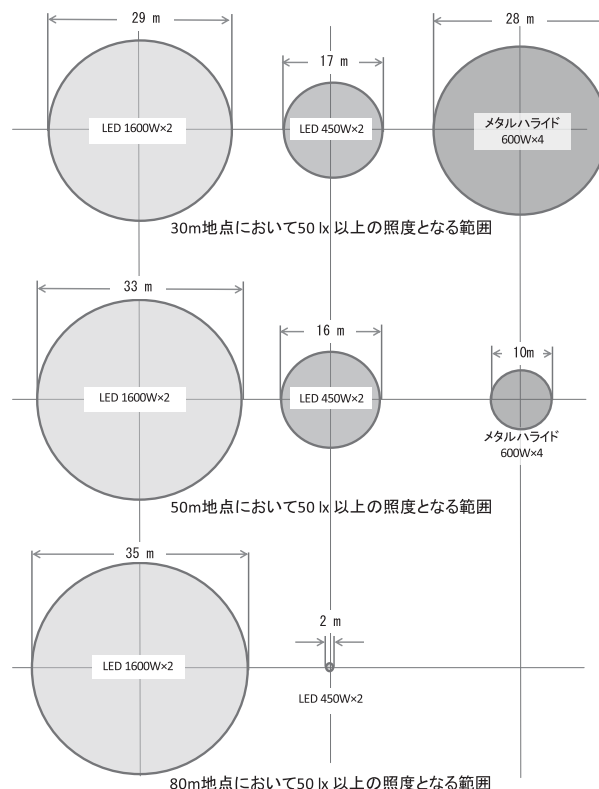
ランプ	メタルハライド	白色 LED		キセノン
構成	600W×4	450W×2	1,600W×2	1,000W×1
出力	2.4kW	0.9kW	3.2kW	1.0kW
写真				
摘要	現状で一般的	省エネルギー	同左・最大出力	探照灯

(3) 照射試験結果

各地点の光軸中心の照度及び 30 m 地点の水平方向の照度分布は、配光図の計算結果とほぼ一致しており、以下の検討では 30m 地点以外の照度分布は配光図により計算した値を使用している。

図一 2 は、白色 LED1,600 W × 2、白色 LED450 W × 2、メタルハライドランプ 600 W × 4 の 30 m, 50 m, 80 m 地点における 50 lx 以上の照度範囲である。なお、50 lx という照度は、工事現場並びに排水管の取付け、運搬、補助作業及び収納作業に必要とされる照度 (JIS Z 9126 屋外作業場の照明基準) である。

白色 LED1,600 W × 2 以外の光源は、80 m 地点で 50 lx 以上の範囲はほぼなくなっている。一方、キセノンランプは、照射範囲は狭いが遠距離まで照射することが可能であり、500 m 地点の 50 lx 以上の範囲は直径で約 6 m (計算値) である。



図一 2 50 lx 以上の照度範囲

(4) 照明装置の光源

上記試験結果から、照明装置の光源としてメタルハライドランプ 600 W × 4 は白色 LED 450 W × 2 に比べて出力に対する照度が低く優位性はない。

一方、白色 LED は高出力の 1,600 W × 2 が遠方においても高い照度を保持できることから投光器として適している。また、キセノンランプ 1,000 W は 500 m の遠距離においても実用上十分な照度が得られることから、探照灯用光源として適している。

以上より、最終的に光源として次の 2 種を選定した。

- ①キセノンランプ (1,000 W)
- ②白色 LED (1,600 W × 2)

4. 試作機による機能検証

(1) 機能検証試験

上記の検討に基づき、照明装置を試作した。この試作機の性能把握、機能確認、不具合の抽出と改良提案を目的として、九州技術事務所構内で機能検証試験(表一3)を行った。

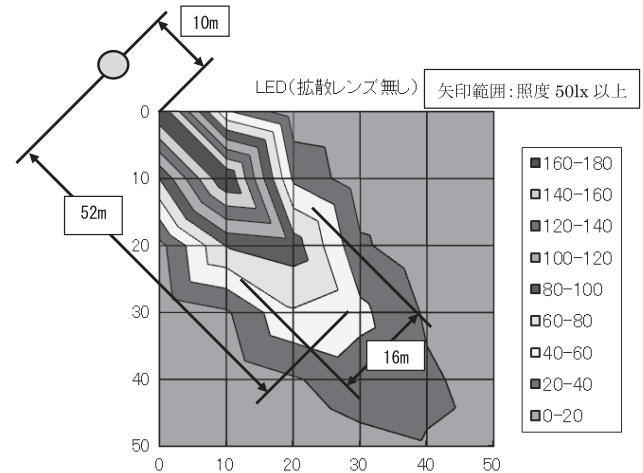
表一3 試験項目と実施条件

試験項目		実施条件
機能性	操作性	操作要素 9 種を対象
	各部消費電力	モータ 3 種及び照明灯 2 種を対象
	風荷重に対する安定性	試作機単体の重心高さ (JIS A8915 を参照する) の算出
	LED 照明温度特性	温度上昇と照度の関係を把握
	耐振性	走行速度 3 条件にて試作機の振動を測定
照射性能	LED 照明灯の照度分布	拡散レンズ有・無 2 条件を実施
	キセノン探照灯の照度分布	光柱角 3 条件を実施
	LED とキセノン両方点灯時照度分布	LED 照明灯の拡散レンズ無の条件とキセノン探照灯光柱角 15 度を両方点灯
	相関色温度	LED 照明灯 キセノン探照灯
	燃料消費量	LED 照明灯・キセノン探照灯の照度分布試験時に 4 時間程度連続運転して測定
歩掛	出勤時	工場出荷時で代替
	車両への搭載	移動式クレーンでクローラキャリアに搭載時を対象

(2) 主な検証試験結果

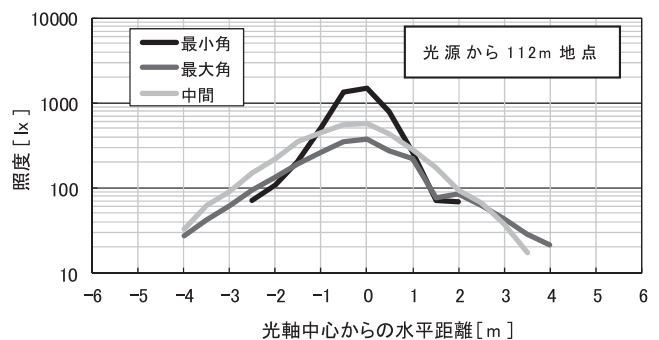
試験結果のうち、照度分布の評価は必要照度を 50 lx とした。

LED 照明灯の拡散レンズ無しの場合、50 lx が得られる範囲は、幅 16 m、奥行き 52 m であり、土砂災害の現場や河川災害のブロック投入作業の支援等にも活用が期待できる (図一3)。



図一3 LED 照明灯 (拡散レンズ無し) の照度分布

また、キセノン探照灯の照射距離 112 m における最小光柱角の中心照度は 1,475 lx で、中心から 1.5 m 離れた地点では 1/10 に低下する (図一4)。なお、中心照度が 50 lx 以下となるのは計算上 600 m 以遠となるので、十分な遠距離照射機能を備えている。

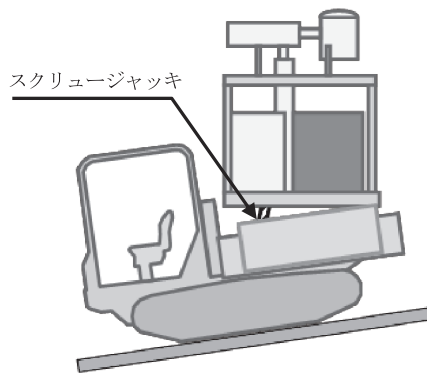


図一4 キセノン探照灯の照度分布

5. 試作機の改良

(1) 傾斜地における運用

災害現場は水平な場所とは限らず、本照明装置を搭載したクローラキャリアが傾斜地に駐車して照明作業を行う場合も考えられる。照明作業は伸縮柱を伸ばして行うが、伸縮柱の傾斜が鉛直に対して 5 度を超えると滑らかな伸縮動作が阻害される。このため、傾斜地



図一5 スクリュージャッキによる傾斜修正機構

に駐車した場合は、スクリーンジャッキを使用して、伸縮柱の傾斜を5度以下に修正する機構を追加した(図一5)。

照明装置を搭載したクローラキャリアの駐車する場所は、通常はほぼ水平で、場所によってはやや傾斜している程度と考えられるので、傾斜修正の範囲は10度未満とした。

(2) 2.5t積みクローラキャリアへの搭載性

本照明装置は、災害現場近辺でレンタル等の手段により手配した2.5t積みクローラキャリア(三方開きタイプは除く)への搭載を想定している。

九州地方整備局管内において、型式によらずにレンタル可能な2.5t積みクローラキャリアへの照明装置の搭載を可能とするため、各型式の荷台内法の最小寸法を調査した。照明装置の架台(ジャッキベース)の設計は、本調査結果をもとに行った。

(3) 搭載用金具の設置

本照明装置をクローラキャリアに搭載し固縛するための金具を追加した。

(4) 発電機給油時の作業性の改善

試作機は発電機の給油口上の空間が照明装置天板で制限されており、給油口を目視して給油する作業が困難であった。そこで、天板に広い開口部を設けた。

(5) 照明運転時間計の設置

キセノン探照灯は電球の寿命が短い(約1,000時間)ので、積算点灯時間管理用の運転時間計を設置した。

6. 改良機による機能検証

(1) 機能検証試験

試作機に上記の改良を施し、その改良効果を検証す

表一4 試験項目と試験内容

試験項目		試験内容
定置試験	搭載性(歩掛)	積載形トラッククレーンでクローラキャリアに搭載時を対象
	メンテナンス性	発電機への給油及び発電機のメンテナンスを対象
	傾斜修正	傾斜修正角度、スクリーンジャッキ操作力、回転数を対象
走行試験	運行試験	走行速度2条件、走行路3条件にてキセノン探照灯の振動を測定
	総合運転	LED照明灯の拡散レンズ有・無、キセノン探照灯最小光柱角の条件にて照度を測定
計算	安定性	照明装置の重心高さ(JIS A8915)の算出

るために、九州技術事務所構内で機能検証試験を行った(表一4)。

(2) 主な検証試験結果

(a) 定置試験

傾斜修正機構について、スクリーンジャッキによって照明装置を容易に水平に修正できることを確認した(写真一1)。



写真一1 傾斜修正試験

また、照明装置を格納庫から搬出して積載形トラッククレーンに搭載するまでの所要時間は約27分、災害現場到着からクローラキャリアに搭載するまでの所要時間は約24分であった。

(b) 運行試験

照明装置は、高さ600mmの架台を取付けた状態でクローラキャリアに搭載して災害現場を走行することになる。そこで、キセノン探照灯が走行時に有害な振動に暴露されていないかどうかを把握するため、探照灯本体の振動加速度を測定して周波数分析を行った。

探照灯本体の最大加速度（走行速度 4.2 km/h）は、アスファルト舗装路で 5.62 m/s^2 (12.8 Hz)、不整地で 5.32 m/s^2 (12.8 Hz) であり、メーカー社内振動試験の最大加速度 10.78 m/s^2 （複振幅 0.5 mm, 33.3 Hz）の 50% 程度で、一般的に耐久性に問題のない加速度であった。

(c) 総合運転

クローラキャリアに搭載した照明装置を水平に修正した上で伸縮柱を伸ばし、LED 照明灯及びキセノン探照灯が異常なく点灯することを確認した。

また、光源の照度の再現性を確認するため、LED 照明灯から 40 m 地点における水平面照度と直射照度及びキセノン探照灯から 110 m 地点における直射照度を測定した（表—5）。

表—5 照射試験結果

光源の種類	距離 (m)	照度 (lx)	
		水平面 (h = 0.05 m)	直射 (h = 1.5 m)
LED 照明灯 (拡散レンズ無)	40	130	587
LED 照明灯 (拡散レンズ有)	40	55	203
キセノン探照灯 (最小光柱角)	110	-	1,717 (h = 5 m)

(d) 安定性試験

① 走行姿勢時の左右傾斜限界角

総合重心高さと代表的なクローラキャリアの履帯中心間距離 (1.2 m) の関係から、左右傾斜限界角は 28 度となる。

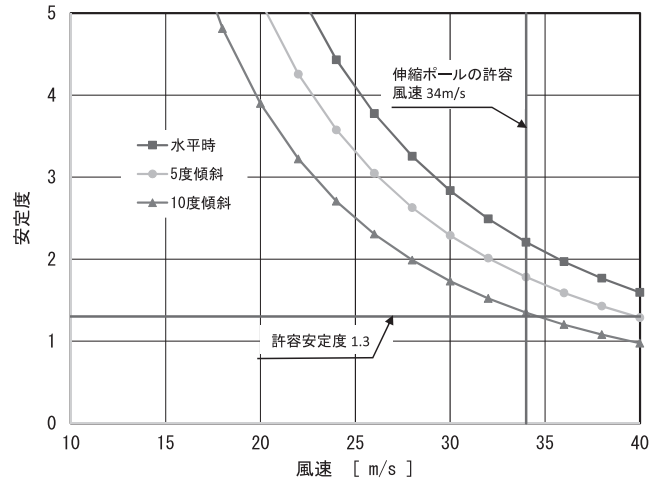
② 照明作業時の安定度

伸縮柱を最大に伸ばした状態における左右傾斜限界角は、走行姿勢時に比べて全体の重心が高くなるため 25 度となる。

③ 風荷重と安定度

クローラキャリアに搭載した照明作業時の安定度を、風速を変数として 40 m/s まで計算した結果を図—6 に示す。図中に、直線で許容安定度 1.3 と伸縮柱の許容風速（これ以上の風荷重を受けると伸縮柱が破損する）34 m/s を併記している。なお、運用上の安定度の基準は、高所作業車の構造規格を参考として 1.3 以上としている。

図—6 によれば、左右傾斜角が 10 度までの範囲では、風荷重による転倒に至る前に伸縮柱が破損することを示し、10 度傾斜では伸縮柱の許容風速 34 m/s において安定度が 1.3 となる。



図—6 照明作業時の安定度と風速

7. 照明装置の活用

本照明装置は、以下の優位性を持つため、災害現場での活用が見込まれる。

- ① 小型・軽量で機動性に富む。
- ② LED 照明灯で 50 m 程度、キセノン探照灯で 500 m 程度の遠距離照射が可能である。
- ③ 不整地走行性に優れる。
- ④ 省電力機器で構成し、燃料補給間隔が長い。

8. おわりに

試作機及び改良機による機能検証試験の結果から、本照明装置は、実際の災害現場において実用に供する十分な機能及び性能を有していることが確認された。

これまで、災害発生初期の不整地等では、夜間の監視や応急復旧作業のために現有の照明車では対応できなかった。しかし、本照明装置の活用により、早い段階から照明の提供が可能となるので、災害対応の迅速性及び安全性の向上が期待される。

今後は、河川災害や土砂災害等の現場に投入して、照明性能や各機能についてさらなる改良点の抽出を行うとともに、現場作業員の意見等を取り入れていくことで、より良い照明装置となるように改良を進めていくことが望まれる。

JICMA

【筆者紹介】

加藤 弘志 (かとう ひろゆき)
 (一社) 日本建設機械施工協会
 施工技術総合研究所 研究第四部
 主任研究員

