

# 特殊環境対応LED照明器具

LED Lighting for Highly Deterioration Environment

\*三菱電機㈱ 住環境研究開発センター(工博)  
†同社 同センター  
‡三菱電機照明㈱

## 要 旨

近年、地球温暖化に対する環境意識の高まりや、電力不足や電力価格高騰を背景とした省エネルギー要求が高まっている。また、国連環境計画での“水銀汚染防止に向けた国際的な水銀規制に関する新条約”によって、2021年以降に水銀を使った製品の製造や輸出入が禁止になったため、水銀を含む金属蒸気を光源とするHID(High Intensity Discharge)ランプからLEDへの置き換えが大きく加速している。

このような状況下で、湾岸クレーンや組立工場などLED照明器具への置き換えが困難な特殊環境でも顧客ニーズが高まっている。三菱電機は、器具設置場所の環境ストレスを詳細に調査・分析することで、特殊環境に適合した評価基準の策定と構造設計を行い、クレーン用耐振・耐衝撃及び耐硫化モデルのLED照明器具を開発した。

## 1. ま え が き

近年の環境意識と省エネルギー要求の高まりの中で光源のLED化が加速している。既存のHIDランプからのリニューアル需要も多く、省エネルギーと合わせて様々な環境に対応できるLED照明器具が求められている。例えば、湾岸エリアの造船所や物流拠点などの屋外クレーンに設置する場合、照明器具がクレーン動作による振動や衝撃を受けるため、耐振・耐衝撃強度を持った器具の開発が必要である。また、加硫剤を使用するゴム工場や塩素系消毒液を用いる屋内プールでは、硫化腐食によるLED不点灯や構造材の腐食減肉による器具の落下を防止するため、腐食性ガスが発生する環境に対応した器具の開発が求められる。

本稿では、LED照明器具業界で先駆けて(注1)LED化に対応した湾岸エリアの大型クレーン向けの耐振・耐衝撃モデル、及びゴム工場向けの耐硫化モデルの開発について述べる(表1)。

(注1) 2019年12月13日(耐硫化モデル)、2020年8月25日(耐振・耐衝撃モデル)、当社調べ

表1. 耐振・耐衝撃モデルと耐腐食モデル

器具	耐振・耐衝撃モデル クラスC2000		耐硫化・耐油煙・重耐塩モデル クラスC2000	
	2020年発売	2023年発売	2019年発売	2023年発売
全光束 (lm)	22,400	21,200	22,200	20,700
固有エネルギー消費効率 (lm/W)	151.0	186.9	150.4	175.5
質量 (kg)	6.6	4.0	8.0	4.1
LED光源寿命 (時間)	60,000			
特徴	ランダム振動3.4G, 耐衝撃30G		3C2環境に対応 (JIS C 60721-3-3) <sup>(1)</sup>	

## 2. 特殊環境対応器具

LED照明器具は家庭用などの一般環境だけでなく、特殊環境に設置する産業用の導入も加速されている。特殊環境では、環境ストレス(振動・衝撃、腐食性ガスなど)が大きいため、安全・信頼性の観点からLED照明器具の特殊環境への展開が困難であった。

そこで、産業用照明器具の使用環境を詳細に調査・分析し、特殊環境に対応した試験基準を策定した。策定した試験基準で設計した器具に破損・不具合が生じないことを確認し、安全・信頼性を確保した器具を開発することで新規市場への展開を可能にした(図1)。

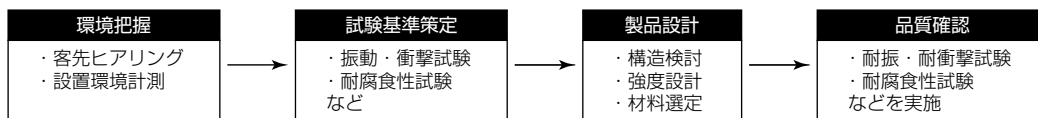


図1. 開発フロー

## 3. 湾岸エリアの大型クレーンに対応した照明器具

### 3.1 器具設置環境の調査

湾岸エリアで使用される橋形大型クレーンなどではガーダー部に照明器具を設置し作業場の明かりを確保している。したがって、照明器具は頻繁に動作するクレーンの振動・衝撃に耐えるものでなければならない。LED素子を始め電子部品や複数の機構で構成するLED照明器具の開発に当たって、実際にクレーンに発生する振動・衝撃を実測し分析した。

その結果、クレーン動作中に伴う定常振動と、クレーン起動や停止時に発生する衝撃の2種類のストレスが発生することを明らかにした(図2)。

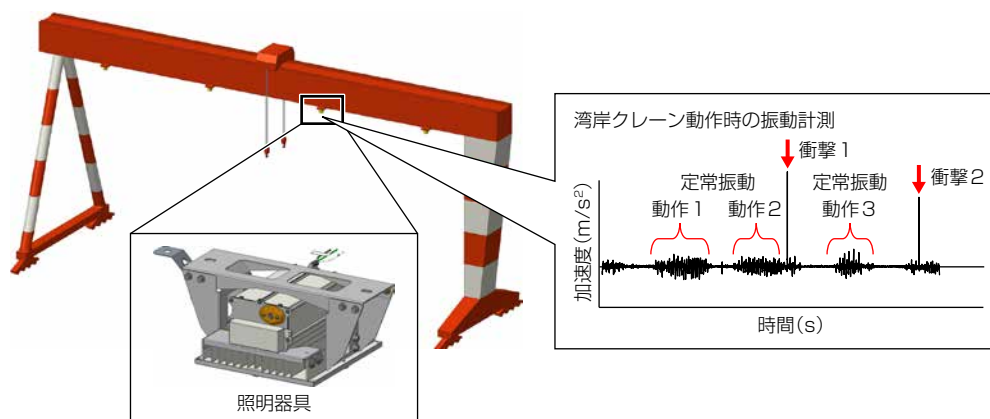


図2. 湾岸クレーンの振動計測

### 3.2 耐振・耐衝撃試験基準の策定

クレーンの振動・衝撃を再現するため、定常振動は複数の周波数成分を持っていることからランダム振動試験、衝撃は単一の周波数であることから正弦波の加速度波形の加振試験を規定した。耐振試験の加振加速度や周波数帯域は、計測データの最大値を適正な試験基準値とした。耐久試験時間は、一般社団法人 日本照明工業会 ガイド111<sup>(2)</sup>で規定されている適正交換時期8~10年、耐用の限度15年に対して裕度を持たせた試験基準値とした(図3)。

2019年以降の耐振機種にはこの試験基準を適用し、対象機種が破損せず十分な耐振・耐衝撃強度であることを確認している。

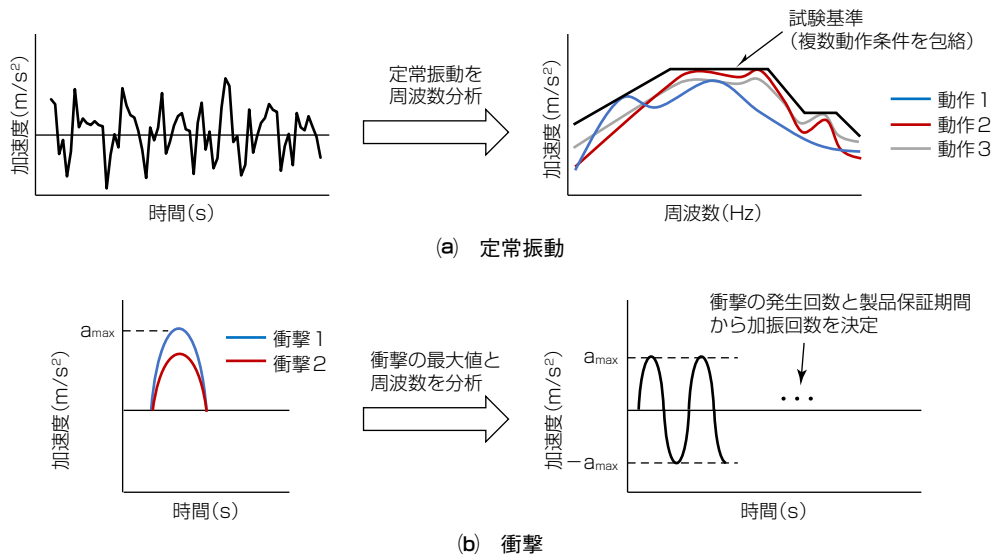


図3. 耐振・耐衝撃試験基準策定の概要

### 3.3 耐振・耐衝撃モデルの耐振設計

2020年発売の耐振モデルでは、クレーンからの振動・衝撃の影響を緩和させるため灯具本体と電源装置を分離した構造であった(表1の2020年発売器具)。今回開発した2023年発売のモデルでは、施工性向上を狙って照明器具本体と電源装置を一体化するため、耐振動・衝撃性能を向上させる必要があった。クレーンからの振動・衝撃を受けるアームは、天面部品と側面部品で構成し部品同士を天井取付部で重ね合わせることで板厚を2倍にして、アーム部品には加振試験を行う全方向(上下・左右・前後)に対して曲げを加えた。これによって、アーム部品の強度と剛性を確保し、かつクレーンの振動が最も大きい周波数と照明器具の共振周波数を回避した仕様にした(図4、図5)。

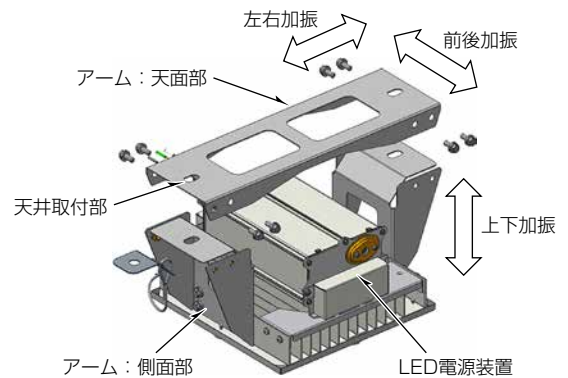


図4. 湾岸クレーン用耐振・耐衝撃モデルのアーム構造

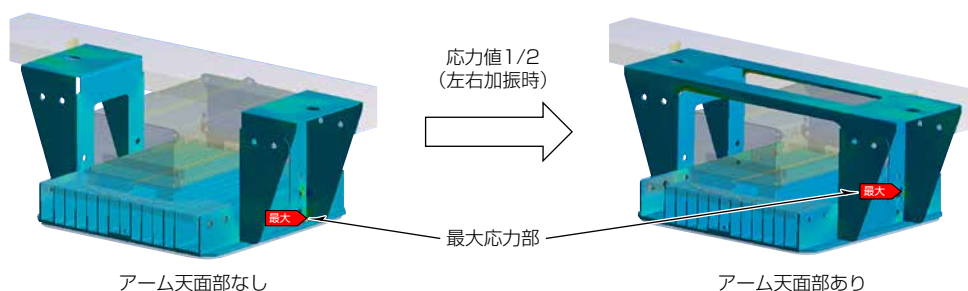


図5. CAE解析を活用した強度確認

また、湾岸エリアの環境として想定される飛来塩分に対しては、ステンレス鋼板と塗装、アルマイト加工したアルミニウムを適用することで耐食性を確保した。暴風雨に対しては、風速60m/sの風圧(JIL1003規格)<sup>(3)</sup>で破損しない強度を確保し、LEDや電源装置をシリコンパッキンで封止しIP65の保護等級(JIS C 0920規格)<sup>(4)</sup>の構造を実現した。

## 4. ゴム工場向け耐硫化モデルの照明器具

### 4.1 器具設置環境の調査

耐腐食モデルは、湾岸クレーン(重耐塩モデル)、ゴム工場(耐硫化モデル)、組立工場(耐油煙モデル)への設置を想定している。器具が設置される空気環境には様々な腐食因子(海塩粒子や腐食性ガス等)が存在しており、長期信頼性を確保するためには腐食因子に対する防食設計が必要である。当社は、器具を設置する現地環境の空気及び付着物を採取して分析することで、電子部品(LED、電源基板)や構造材に対する腐食因子の種類と濃度を明確にした(表2)。

表2. 製品設置環境と腐食因子

製品設置環境	腐食因子
湾岸クレーン	海塩粒子
ゴム工場	加硫剤
組立工場	油煙

### 4.2 耐硫化試験基準の策定

耐硫化モデルの開発に当たって、ゴム工場で使用する加硫剤によるLEDの硫化腐食が最も厳しいストレスであることが環境調査から明らかになった。加硫剤を模擬した硫黄華を試薬に用いて点灯したLEDと共存させるばく露試験を行い(図6)、LEDの照度及び光束低下率を確認する耐硫化試験基準として策定した。また、設置環境で検出された4種類の腐食性ガスについてもばく露試験を行い、照度及び光束低下率を確認した。

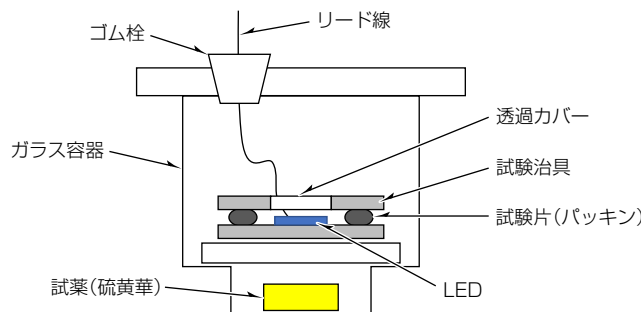


図6. 硫黄華ばく露試験

### 4.3 耐硫化モデルの防食設計

LED高天井用ベースライトGTシリーズで、耐硫化モデルを開発した。2019年発売のモデルでは、LEDにCOB(Chip On Board)を採用していた。今回開発した2023年発売のモデルでは、省エネルギー性を更に向上させるためにSMD(Surface Mount Device)を採用し固有エネルギー消費効率を改善する必要があった。しかしながら、一般的に、SMD型LEDの封止樹脂に硫黄成分が浸透してリードフレーム表面に硫化銀が生成することで、反射率が低下しLEDパッケージの光束が低下する問題があった。このため、外部からLED光源部への硫黄成分の流入を防止できる密閉性が高い耐硫化用パッキンを適用することで、耐硫化試験でLEDの照度及び光束低下に問題がないことを確認した(図7)。

腐食性ガスや硫黄成分が浮遊する環境に対応させるため、照明器具のガラスカバーと筐体(きょうたい)にステンレス、アルマイト加工したアルミニウムを採用し必要に応じて塗装し、パッキンをガラスカバーと電源ケースに設置した。ガラスカバー枠部のパッキンは、つぶし量を寸法管理することで気密性を高めて、硫化環境でも不点灯を引き起こさない照明器具を開発した(図8)。

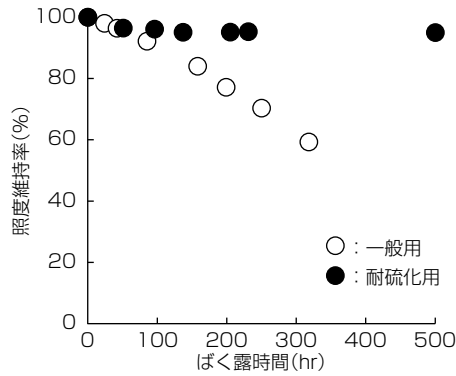


図7. 耐硫化試験での照度維持率

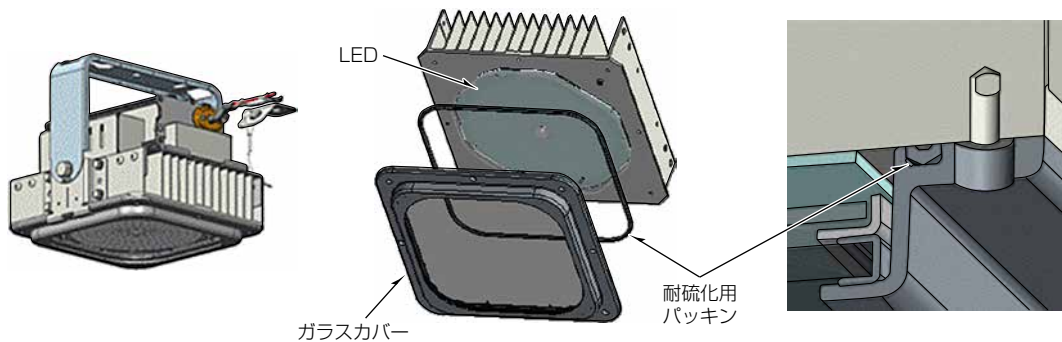


図8. 耐硫化・耐油煙・重耐塩モデルの構造

## 5. む す び

産業用GTシリーズの開発で、設置環境を適正に再現した試験基準を策定し、設置環境に応じた設計手法を確立した。近年までLED照明器具の展開が困難であった特殊環境に対応することで新たな受注にもつなげることができている。LED照明器具は今後も需要が見込める市場であり、産業用GTシリーズだけでなくベースライトやダウンライトなどの様々なLED照明器具に展開し開発を進める。

## 参 考 文 献

- (1) 日本産業規格 JIS C 60721-3-3 環境条件の分類 環境パラメータとその厳しさのグループ別分類 (1997)
- (2) 一般社団法人 日本照明工業会：JLMA ガイド111 建築物等に設置する照明器具の耐用年限 (2012)
- (3) 一般社団法人 日本照明工業会：JIL1003 照明用ポール強度計算基準 (2009)
- (4) 日本産業規格 JIS C 0920 電気機械器具の外郭による保護等級 (2003)