駅舎ホーム用グローブ照明器具の技術開発プロセス

TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT PROCESS OF GLOBE LIGHTING EQUIPMENT FOR PLATFORM OF A TRAIN STATION

小崎美希 — * 1 大國香織 — * 2
内田陽子 — * 2 許 載永 — * 3
古賀誉章 — * 4 平手小太郎 — * 5
鈴木直行 — * 6

Miki KOZAKI — * 1 Kaori OGUNI — * 2
Youko UCHIDA — * 2 Jaeyoung HEO — * 3
Takaaki KOGA — * 4 Kotaroh HIRATE — * 5
Naoyuki SUZUKI — * 6

キーワード：
駅舎, LED, 配光調整, グローブ, スポットライト

Keywords:
Train station platform, LED, Adjustment of flux distribution, Globe, Spot light

Through the opportunity to plan lighting for platform of a train station, this research aims to determine the requirements and design a new LED globe light to meet it. In order to increase brightness where there is no wall or roof, as well as gaining flour brightness, sandblasted globe was attached to LED spot light. Considering the public nature of the station, design code was driven from images of the region. Practical utility such as no light pollution and decrease in energy usage were verified.

1. はじめに

1. 1. 社会的背景

1990年代に入り青色LEDが開発されたことにより、表示灯だけでなく生活の様々な場面に登場する照明にLEDが使用されるようになった。また東日本大震災以後、特に社会的な節電要請からLEDなどの高効率照明器具の出荷が増加している¹⁾。日本再生戦略(平成24年7月閣議決定)においても2020年までに公的設備・施設のLED等の高効率照明の導入率100%を目指すとしており²⁾、駅などの公共施設も含め、今後も様々な用途の空間において高効率照明器具への改修が求められていくと考える。今後加速すると考えられる照明改修における計画策定と器具の開発に関して、筆者らが得た駅のプラットフォームの照明改修に携わる機会に活用した技術を報告する。

1. 2. 対象駅の概要

対象駅の概要は以下のとおりである。

- ・乗客数: 約30,000人弱
- ・ホーム形式: 対面式、2ホーム
- ・ホーム長さ: 約170m(約70m上家内、約100m上家外)
- ・ホーム幅: 最短1.55m、最長5.24m
- ・立地: 東京都内

1. 3. 既往研究

駅の照明計画に関する既往研究と配光調整を伴う照明器具の開発に関する既往研究を調査した。まず、駅の照明計画に関しては、柳澤ら^{3) 4)}が安全性だけではなく、空間の快適性にも着目して設計すべきであることを指摘し、照度だけではなく、グレアや演色性、デザイ

ン性などを評価するため光環境の物理量を測定し、印象評価実験も行っている。石田ら⁵⁾は空間の明るさ感指標としてFeu値を用いるとともに、シミュレーションによる事前予測を設計へ反映することにより、従来照明計画よりも省エネで明るい空間を実現しているが、富田⁶⁾の紹介している事例同様、屋根のある空間での事例である。

照明器具の開発に関しては、レンズやグローブを用いて配光調整する事例が見られる。加藤ら⁷⁾と浅川ら⁸⁾はレンズを用いて受照面が均一に明るくなるように調整し、照度分布や配光分布を用いて評価している。細田ら⁹⁾はグローブを用いて上方へ光を拡散調整し、配光曲線を用いて評価している。

これら既往研究の評価手法などを参考にし、照度などの基準値だけに依存した従来型設計を脱却し、光環境を適切に評価する指標を用いて包括的な視点から快適な光環境を設計する。このように快適性を向上させる駅の照明計画を立てるためには、その実現に向けた一助となる新しい照明器具の開発を行う必要があると考えた。

1. 4. 目的

駅の照明改修計画とそれに伴う器具の開発にあたり、他の事例への展開・波及を念頭に置き、以下の2点を本報の目的とした。

第一に空間用途(今回は駅)に求められる要件を整理し、要求を満たす器具を選定もしくは開発するための手法と手順を明らかにすることである。即ち、照明計画において要求品質機能展開(QFD)に類似した考え方を導入する。QFDは赤尾ら¹⁰⁾によって紹介された顧客のニーズと製品の品質性能を合わせて管理するためのツールであり、様々な形へと展開されている。今回筆者らは駅ホームにて求めら

¹⁾ お茶の水女子大学基幹研究院自然科学系 助教・博士(工学)
(〒112-8610 東京都文京区大塚2-1-1)

²⁾ 元東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 修士課程・修士(工学)

³⁾ 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 博士課程・修士(工学)

⁴⁾ 宇都宮大学地域デザイン科学部建築都市デザイン学科 准教授・博士(工学)

⁵⁾ 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 教授・工博

⁶⁾ 柳澤藤照明 照明設計課 課長

⁷⁾ Assistant Prof., Faculty of Core Research, Natural Science Division, Ochanomizu Univ., Dr. Eng.

⁸⁾ Former Graduate Student, Dept. of Architecture, Graduate School of Eng., The Univ. of Tokyo, M. Eng.

⁹⁾ Graduate Student, Dept. of Architecture, Graduate School of Eng., The Univ. of Tokyo, M. Eng.

¹⁰⁾ Assoc. Prof., Faculty of Regional Design, Dept. of Architecture and Urban Design, Utsunomiya Univ., Dr. Eng.

¹¹⁾ Prof., Dept. of Architecture, Graduate School of Eng., The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

¹²⁾ Dept. of Lighting Design, Endo Lighting Corp.

れる光環境から照明計画または器具に求められる要求品質項目を整理し、定量的・定性的に品質が確保されているか確認するための手法を整理し、器具の試作品などの実効性を検証するために用いた。

第二に LED 照明器具の新たな開発の可能性を示すことである。これまでは光源は取り外し可能な光源部分と光源を含む全体を照明器具として区別していた。LED の多くは発光部分と照明器具とが一体として製品化されているが、今回、既存の照明器具に設置する付属物を中心に検討し、配光や印象を操作する技術を提案することを目的とする。本報では、現時点までに実際に提案が反映・施工された乗降場上家外の計画と結果のみ報告する。本研究は大学と企業との産学連携活動によって達成された研究であり、社会的な意義も併せ持つ。

2. 照明改修計画の策定：要求品質特性の整理

2. 1. 駅の照明要件：空間用途の要求品質

照明計画の策定にあたり、いくつかの文献を参照した。JIS の照明基準総則 (Z9110:2010) には、その目的が「主に人工照明によって、人々の諸活動が、安全、容易、かつ、快適に行えるための照明設計基準及び照明要件」¹¹⁾とされている。駅舎に関しては一日の乗降客数に応じて A 級、B 級、C 級の 3 つに区分されており、空間用途別に維持照度、照度均斉度、平均演色性評価数が設定されている。また『照明ハンドブック』¹²⁾には「照明は、安全性を十分に確保しながら快適性や経済性への検討を行う」こと、「線路面への明るさも危険の早期発見という点から必要」であること、「列車運転手の運転障害となるような照明とならないよう注意する必要」があること、また「駅は街の中心に位置することも多く、街の玄関口という役割も担っている」ことなどが駅舎、ホームでの照明の考慮要素として挙げられている。これらを踏まえ、以下の 4 項目を駅の照明要件として設定した。

(1) 安全性、(2) 快適性、(3) 地域性、(4) 経済性

2. 2. 照明計画の必要項目：要求品質項目

上記の要求品質に基づき、照明計画の要求品質項目を検討した。

(1) 安全性

安全性に配慮するため、必要最低限の明るさに関する照明基準を参照した。JIS Z9110:2010 の A 級 (15 万人以上)、B 級 (1 万人以上)、C 級 (1 万人未満) の区分の中で、対象駅は乗客数から B 級に区分されるが、事業者の意向により、A 級駅の基準を適用した。

ア) 照明基準 乗降場上家外：維持照度 15 lx、照度均斉度 0.25、演色性 Ra20

(2) 快適性

安全性を確保するために必要な項目の他に、駅空間としての快適性を向上させるために必要な項目を検討した。まず、光環境の主要要素である明るさに関しては、空間の明るさも考慮するために、照明基準で採用されている項目以外の項目も考慮すべきであると考えた。多くの明るさ感研究において共通している点は、知覚としての明るさには照度ではなく輝度が関係しているという点である。先の維持照度では床面の照度しか確保されず、駅空間として明るいか否かは不明である。本対象駅同様、多くの駅においてプラットホームの床は暗い色が用いられており、照度は確保されていても輝度は低くなる。明るい面が増えるにつれ、空間の明るさが増す。一方で、高輝度になると運転士のまぶしさが問題となるため、バランスをとる必要がある。さらに関連研究¹³⁾の結果によると、視野内の輝度のムラが明る

さを引き下げる要因であることが示されている。

イ) 空間の明るさを改善するため、明るい面を増やす工夫を施した照明器具を開発する。

ウ) 運転士のまぶしさを考慮するため、高輝度面が見えないような工夫を施した照明器具を開発する。

(3) 地域性

対象地域の商工会議所も地域の特性を伸ばすために地域のイメージ調査¹⁴⁾を行っており、多くの人は本対象駅周辺の地域に対し、「街全体がオシャレ」「新しい発見がある」「富裕層が多い」などといった印象を持っていることや、対象駅がその地域のシンボルとしての役割も果たしていることなどが明らかになっており、地域のブランド性を引き立たせるようなコンセプトが必要だとされている。

調査結果を踏まえ、駅の地域性を明らかにするためにブレインストーミングを行った。通常、ブレインストーミングは集団的思考収集の 1 つとしてポストイットなどにテーマにあったアイディアを出し合うが、今回は地域性を割り出すための作業であるため、以下の手順によりコンセプトを抽出した。まず事前に協力者 7 名にその地域の画像、もしくはその地域に対する印象を表現するような画像を各自収集 (結果 45 枚) してもらった。画像内の地域性を感じる部分を議論し、キーワードを抽出した。キーワードを KJ 的手法により集約した結果、最終的に「キラキラ」、「ランダム」、「スタイリッシュ」、「ドット」の 4 つとなった。

以上から、地域特性を考慮した明確なコンセプトを立てるため、デザインのコンセプトを、以下の通りとした。

エ) デザインコンセプトを「キラキラ」「ランダム」「スタイリッシュ」「ドット」の 4 つとする。

(4) 経済性

省エネルギー性および経費の観点から経済性を考慮した。省エネルギー性を考慮するため、消費電力を改修前の状態よりも削減することが最低限必要となる。また、照明器具の開発にかかる経費は高額となることが多いため、市販品を組み合わせることで経済性を考慮することとした。すなわち、経済性に関する項目は以下の通りとした。

オ) 改修前よりも消費電力を削減する。
カ) なるべく市販品を組み合わせることで器具を開発する。

(5) その他の項目

このほか、照明器具の必要項目として以下のものが挙げられる。これは既存の照明器具の位置の改修であることによる項目と安全性を考慮した社内規定に基づく項目である。

キ) 上家外では 10m ピッチでのポール灯を設置する。
ク) 照明器具の下部の高さが 3.2m 以上とする。
ケ) ホーム端より 0.5m 以上離して照明器具を設置する。
コ) ホーム脇に民家や商店が隣接するため、光害に配慮する。
これらより、照明計画必要項目ア)～コ) の 10 項目を要求品質項目として整理した。

3. 手順 1：基本計画の方針

駅の照明計画に求められている要求品質 10 項目を満たすべく、基本計画を固める。まずすでに規定されている項目を整理し、次に従来の駅照明と比較し、問題点を抽出する。最後に他の技術で問題点を解決できるか検討する。

1) すでに規定されている要求品質項目の抽出

すでに規定されている項目による制限を整理する。キ) により照明器具形式はボール灯で間隔 10m と決定済みであり、照明器具の設置高さはク) により 3.2m 以上、設置位置がケ) により限定される。残りのア) ～カ)、コ) の項目を満たすべく検討を進める。

2) 既存照明計画の問題点の抽出

これまでの駅照明においては、経済性と明るさの確保の観点から「プラットホームは細長い被照面であることからホーム端に近い位置に蛍光灯器具を連続的に配置する照明が一般的である」¹²⁾ とされている。しかし、これはウ) まぶしさに対する対応やエ) デザインコンセプトの観点から最良の計画とは言えない。またウ) 高輝度面が見えていることも多く、イ) 明るさ感の減少にもつながる。

3) 他の技術の利用

カ) 既製品をなるべく使うという観点から、参考文献内¹²⁾の屋外照明器具の区分と特徴を用いて要求品質性能項目との合致度合いを表記した(表 1)。なお、エ) デザインコンセプトと関連は低いことから割愛した。照明器具区分はランプ光束に対する上方光束の比で表されていたため、品質性能手法はそれに倣った。例えば上方光束比 >20% の場合、「周囲が開けた地域では、むだとなる光が多い。」という表現や、他の光束比にはある「所要照度が得やすい」という表現がないことから、ア) オ) には「やや良」を、コ) には「否」を記した。また「高い建物なども照明され、空間把握が容易になる。照明器具の輝きで、活気ある雰囲気を得やすい」という表現から、イ) 明るさ感に「良」を記した。「まぶしさを感じやすいので、輝きを抑える必要がある」という表現から、ウ) には「否」を記した。

表 1 屋外照明器具の品質表(抜粋)

要求品質項目	品質特性：上方光束比[%]				
	>20	≤20	≤15	≤5	=0
ア) 維持照度	やや良	やや良	良	良	良
イ) 明るさ感	良	良	やや良	否	否
ウ) まぶしさ	否	否	良	良	良
オ) 省エネ性	やや良	やや良	良	良	良
コ) 光害	否	否	やや良	良	良

表 1 の結果より、上方光束比が高いほど空間の明るさ感を得るためには効果的であるが、低いほどその他の項目に関しては有効であることが分かった。そこで本研究では①下向き配光である屋外用スポットライトを用いることと、②明るい面としてグローブを組み合わせることを基本計画とした。これにより、イ) 明るさ感の項目を改善しつつ、下向き光量を確保する。必要光量などを考慮し、屋外対応のスポットライトを選定した^{注1)}。

4. 品質特性評価手法

抽出した要求品質 10 項目を満たしているかを確認する手法として様々な光環境の定量的な測定などの検討手法がある。以下に代表的な測定・検討手法を品質特性の確認手法として述べる。測定内容に基づき算出した品質特性評価手法は適宜記載する。

4.1. 配光測定

下方向への配光を確保しつつ、デザイン性にも考慮した照明器具を開発するため、配光測定を実施して光の量と方向性を検討した。配光測定環境を図 1 に示した。暗幕で囲われた空間内に照明器具を設

置し、照明器具(光源面中心)から 4m^{注2)}離れたところで照度計^{注3)}を固定して照度を測定した。照明器具を 5 度ずつ回転させ、測定した照度を記録した。測定した照度(E)、光源までの距離(r)を用いて光度(I)を算出した(式 1)。

$$I = E \times r^2 \quad (\text{式 1})$$

図 1 配光測定環境・立面図(上部)・平面図(下部)

配光測定の結果を用いて配光曲線を作成し、方向別の光の分布を把握するだけでなく、運転士のまぶしさを検討するためにも用いた。運転士視線高さ平面上に運転士の経路と各照明器具の光軸と角度範囲を等高線表記し、グレア注意点を抽出、最高 GR (Glare Rating; CIE や JIS における屋外の不快グレア評価値)を算出した。

4.1.1. 配光測定精度の確認

実験室での配光測定精度を確認するため、メーカーの公開している配光データと比較した。照明器具単体(スポットライトのみ)で上記手順により測定し、比較検討した。なお、メーカーの公開しているカタログ配光データは 1000 lm あたりのため、器具光束量に応じて換算した。光軸方向を 0° (≤90°、5° 刻み)として図 2 に 2 回の実測値とカタログ値を図示する。実験空間は暗幕で覆われているものの、完全に遮光することは困難であったためか、角度が大きくなるほど実測値が大きく、角度が小さいほどカタログ値の方が大きくなる傾向が見られた。2 回の実測値の t 検定を行った結果、有意差がなかったため、実験室条件による系統誤差として扱うこととし、補正係数を算出して以後の実測値を補正することとした。なお補正係数は(=カタログ値/実測値平均)とし、図 2 の外周に併記した。以後、測定データは補正係数により補正したものを記載している。カタログに記載のなかった 90° については値が低いことが予想されるため、90° 時の補正係数を用いても問題ないと思なした。

図 2 配光測定精度検証結果

4.2. 輝度分布測定

光環境の基準としては照度値などが採用されており、計画上使用されるが、上記のとおり、空間の明るさには輝度値との関連が強いとされている¹³⁾。今回の計画ではボール灯を設置する上家外の空間で明るさ感を向上させるため、照明器具の輝度分布を測定し、評価に加えることとした。ケ) 照明器具下部の高さ 3.2m 以上であることを満

図3 輝度分布測定環境

たしつ、視点位置 1.5m の人の視線を模倣することとした。輝度カメラ^{注4)}による制限、実験空間の制限から、光源面（スポットライト面）からの角度 45 度で設定した。照明器具の輝度分布のみを検討するため、グローブの範囲である $1.71 \times 10^{-2} \text{sr}$ ^{注6)}の範囲

内に限定して検討した（図3）。

4.3. 照明シミュレーションを用いた検討

新規開発照明器具を用いた環境を予測し、検討するため、照明シミュレーション（Dialux4.12）を用いた（図4）。事業者から提供された空間データや実地調査結果に基づき3Dの駅舎やホームを作成した。配光測定データおよびIES

図4 シミュレーション画像例と凡例

データをシミュレーションに代入し、作成した試作品の検討を行った。ア）照明基準に関しては、ホーム上の照度分布の計算を行うことで検討した。ホームの一部、約30mの範囲を0.25mグリッドで算出した照度値を用いて算出した。またコ）周辺への光害の影響の検討は、敷地境界線とホームが一番近接する箇所に仮想壁（5m四方）を設置し、その壁面の照度分布を評価として用いた。

5. 手順2：基本設計

基本計画により下向き配光のスポットライト（以後Spotと記す）とグローブを組み合わせることで、床面照度を確保しつつ球体の明るさによる明るさ感の向上を目指す。照明器具のデザイン設計、すなわちエ）デザインコンセプトを満たすための基本設計を以下のようにした。

- ・「キラキラ」→付属の造作物のデザイン
- ・「ランダム」→ポール灯配置、灯具取り付け方法
- ・「スタイリッシュ」→ポール灯のデザイン
- ・「ドット」→グローブのデザイン

これら検討結果により影響を受ける項目を踏まえ、1. グローブの仕様に関する検討、2. キラキラに関する検討、3. ポール形状の検討を行った。

5.1. グローブの仕様に関する検討

新規開発照明器具はグローブの仕上がりによってどの程度光が拡散されるのかを検討するため、以下の6条件で配光測定を行った（図5）。①Spot・カタログ値（淡灰点線）②Spot・実測値（淡灰実線）③Spot+透明グローブ（濃灰点線）④Spot+サンドブラスト加工球（以後Sand球と記す）（濃灰実線）⑤Spot+乳白グローブ（黒点線）⑥一般的な乳白グローブ（黒実線）である。なお、③～⑤のグローブの直径は370mmのものを、⑥一般的な乳白グローブは水銀ランプ蛍光で器具光束が類似しているものを選定^{注7)}、Spotの器具光束と同じになるように補正した値を用いた。光軸方向を0°とし、上方部を

割愛した配光結果を図5に記す。

図5 グローブ配光測定結果

測定結果に基づき、考察を行う。Spotのみの場合と一般的な乳白グローブを比較すると、同一器具光束であっても光の上方への拡散度合いや光軸方向への光度に大きな差があることが明らかとなった。またSpotに付加させたグローブの透過率に応じて光軸方向への光度が減少していることが分かる（Spot $\geq$ Spot+透明>Spot+Sand球>Spot+乳白）。ただ透明グローブを付加した場合、Spotと比べて0°～20°の範囲に挙動の差が見られ、透明であっても反射や屈折などの影響があることが示された。

さらに、光の拡散による明るさの向上度合いを検討するため、輝度分布も測定した。測定された輝度分布から算出できる値を用いて評価も行った。明るさに関しては、高輝度部分が存在すると低減するという知見に基づき、関連研究¹³⁾において算出した明るさ感の予測式を用いて算出した値を掲載している。範囲全体が明るいだけでなく、過度な高輝度部分が存在しないことが重要である。関連する品質特性に即して②～⑤の測定値または計算値を表2にまとめ、⑥も参考資料として掲載した。なお、輝度画像は参考のためのものであり、実際に計算に用いた範囲よりも大きい範囲を示している。

表2 グローブの光拡散度合いに関する検討まとめ

要求品質項目	品質特性	② Spotのみ	③ Spot+透明球	④ Spot+Sand球	⑤ Spot+乳白球	⑥ 従来グローブ
ア) 照明基準	光度真下 [cd]	2342	2400	1671	675	209
	30度	2226	2398	1004	530	227
イ) 空間の明るさ	輝度画像					—
	平均輝度 [cd/m²]	1300	1480	2110	2270	—
	明るさ感 B	151	169	202	211	—
ウ) まぶしさ	最高輝度 [cd/m²]	50900	63300	10900	4730	—
エ) 光害	仮想隣接壁面最高照度 [lx]	12	—	29	—	234

拡散度合いに関する検討の結果を考察する。②、③は、下向きの光量の確保に関しては有利であるのに対し、高輝度部分が存在するためまぶしさが生じるだけでなく、面としての明るさが存在しないため空間への明るさの寄与が低い。一方、④⑤⑥と拡散度合いが増すにつれ、下向きの光量が減少してしまうだけでなく、光害となるような周辺への光の漏れが生じる可能性がある。総合的に考慮して④のSpotにサンドブラスト加工した球面を装着することとした。

5.2. 「キラキラ」に関する検討

新規開発照明器具のデザインコンセプトの1つとして「キラキラ」

を挙げている。検討を重ねた結果、実現手法としてグローブの中に透明の付属物を挿入し、光を乱反射させたり集光させたりすることによって「キラキラ」を表現することとした。飾りとして用いられるアクリル製の氷状の多面体（a）やビー玉、大型ビーズ、フレネルレンズ（凸、凹）など様々な透過性のある部材（b～e）で検討を重ねた。フレネル凸レンズはグローブの表面に像を結ぶため、木漏れ日のような光の強弱が見られた。フレネル凹レンズを用いると、集光し、像（虚像）を形成したりレンズ表面で反射したりすることで「擬似光源」が作成され、「キラキラ」光る「つぶつぶ」が表現されることが分かった。

フレネルレンズの配置・数に関する検討を行った。粒の数が多いほど「キラキラ」と表現されやすい一方、A)レンズによる下方面への光の遮断や B)粒の見え方、C)レンズによる影の形成、D)施工性などが課題として挙がった。A)レンズによる下方面への光の遮断具合は配光測定を行うことによって試作品の評価を行い、B)粒の見えや C)影の見えに関しては数人による目測で評価を行った。レンズの配置が光源に近いほど集光する光は強いが、光源と重なることで粒に見える範囲が限定されてしまう。またレンズ同士に隙間が生じると影が強調されることが分かった。またレンズ中央ではなく、レンズの端に集光することが明らかになったため、フレネルレンズが一部欠損していても集光に問題ないことが明らかになった。よって、レンズの中央からレンズの中央までを含むものを 1 枚として加工することとした（e）。D)施工性に関しては器具メーカーと協議しながら進めた。

試行錯誤を繰り返し、計 39 個の試作品に関して配光測定や心理評価（5 人による 5 段階評価；良（有）、やや良（有）、中立、やや否（無）、否（無））などを通して A)～D)の評価を行った。代表的な 5 個（a～e）についての配光測定結果と心理評価結果（平均値）をまとめる（表 3）。

表 3 キラキラの検討事項まとめ

キラキラ試作品	a アクリル ビーズ	b 凹凸市 松 3 段	c フレネル 凹レンズ	d 穴あき 凹レンズ	e 台形凹 レンズ
画像
ア) 光度真下 [cd]	-	1136	1345	1301	1232
照明基準 エ) 光度 30° [cd]	-	784	863	989	938
キラキラ A 配光	やや良	中立	やや良	やや良	やや良
B 粒感	やや無	やや無	中立	中立	良
C 影	無	無	やや無	やや有	中立
D 施工性	中立	やや否	中立	やや否	中立

レンズの数を多くすることで粒の数が増え、「キラキラ」感が増す一方、光が阻害されてしまう。また、ホーム上の歩行者の視点からは、グローブの上部ではなく、中央に見える粒が重要であるため、レンズを光源から離して固定することが有用であることが分かった。またフレネルレンズ上に集光し、虚像を結ぶが、視点移動に伴い見え方が変化するため、さらに「キラキラ」感が増す効果が見出された。

5. 3. ボール形状に関する検討

駅の要求品質項目のうち、ボール灯に関連する検討を行った。エ) デザインコンセプトの「ランダム」「スタイリッシュ」、キ) ケ) ポー

ル灯の配置（間隔、位置）やク) 照明器具設置高さに関しては、ボール灯のデザインで要件を満たすこととした。計算の結果、1 本のボール灯に 2 個光源を付ける必要があることが分かった。光源にはグローブを用いる代わりに、ボール灯は直線的なデザインとすることで「スタイリッシュ」を強調し、2 個の光源の高さを一定ではなくし 1 本の支持梁に傾きを持たせることで「ランダム」を表現することとした。光源 2 個の高さの左右入れ違いの A パターンと B パターンを作成した。歩道橋などの高さに制限を加えるものが存在するためボール灯設置位置によって高さが変動するが、キ) ク) 標準パターンのボール灯の模型 A パターンと B パターンを載せる（図 6）。

またア) 効率的にホーム上を明るくするとともにコ) 周辺の光害に対応するため、支持梁の位置に関しても検討を重ねた。2 本の支持梁を一直線上に配置するのではなく、内向き角が 120° となるようにした。また光源も支持梁から真下を照らすように配置するのではなく、傾けることとした。地面と光軸との角度を 60° とした。

図 6 ボール灯の模型

5. 4. 試作品検討開発結果のまとめ

本研究は、快適な屋外ホーム（駅空間）を形成する照明器具を開発するべく、駅に求められる照明の要求品質項目を 10 項目整理し、配光測定、輝度分布測定、照明シミュレーションなどにより試作品の品質性能評価を行い、最善案を検討した。代表的な試作品に対する評価結果から、以下の条件を最善案の必要条件とした。

- ・ Spot にサンドブラスト加工したグローブを装着
- ・ 中の付属物（e の修正版）：
 - ・ フレネル凹レンズを使用
 - ・ レンズの中央から中央までを 1 枚とし、9 枚程度使用
 - ・ 光源から離して円形状、かつずらしてレンズを配置
 - ・ レンズは内側に少し傾ける
- ・ ボール灯の形状：
 - ・ 左右の光源の高さに違いを持たせるため、一方の支持梁に傾き
 - ・ 支持梁間の角度を 120°、光軸が地面に対して 60° とする

6. 新開発照明器具の仕様：実施設計

上記条件を用いて新規照明器具を作成した。中の付属物はレンズを 8 枚組み合わせて作成した（図 7）。

図 7 中の付属物と設置されたボール灯上部

製作された照明器具に関して再度、品質特性を確認するために測定を行った。配光測定や輝度分布測定結果を載せる（表 4）。要求品質項目ア) ～コ) に関する評価を実施し、作成された新規開発照明器具が要件を満たしていることを確認した。測定値などが存在する場合はその値を、心理評価平均値（5 人による 5 段階評価；良（有）、やや良（有）、中立、やや否（無）、否（無））と実現性（可、対応可、不可）を表記した。なお、実施していない項目は（－）表記とした。

表4 要求品質項目達成の確認

要求品質項目	品質特性評価手法		現状：水銀ボール灯等	④ Spot + Sand 球	④ Spot + Sand 球 + e'
ア 照明基準	配光曲線	光度真下 [cd]	3388	1671	1609
		光度 30° [cd]	2728	1004	1141
	仮想ホーム	平均照度 [lx]	79	63	39
		均斉度	0.09	0.14	0.15
イ 空間の明るさ	演色性	Ra	40	85	85
		輝度画像	—
	輝度分布	平均 [cd/m²]	—	2110	1920
		明るさ感 B	—	202	200
ウ まぶしさ	輝度分布	最高 [cd/m²]	—	10900	7780
		GR	42	—	21
エ キラキラ	A 配光	B 粒感	良	良	中立
		C 影	無	中立	中立
		D 施工性	良	良	中立
		ランダム	ボール配置、灯具取り付け方法	無	有
	ドット	グローブ	無	有	有
		スタイリッシュ	ボールデザイン	無	有
オ 消費電力	消費電力[W] × 設置器具数		250W × 11 灯 400W × 5 灯	40.8W × 2 灯 × 16 本	
		消費電力[W]	4750	1305.6	
カ 市販品の使用			可	対応可	対応可
キ ボール間隔			可	可	可
ク ボール灯高さ			可	可	可
ケ ボール設置位置			可	可	可
コ 光害	仮想隣接壁	最大照度 [lx]	429	29	26

7. まとめ

駅ホームの照明改修を行うにあたり、要求品質機能展開を参考にして照明要件や必要項目を「要求品質項目」とし、測定可能な評価項目などを「品質特性評価手法」としたことで、品質を確認しつつ器具の開発を行う手立てを検討できた。設置場所が屋外の上屋の無いホームであるため、既存の LED スポットライトを用いて床面照度を確保しつつ、明るい面、すなわち空間の明るさ感を向上させるためにサンドブラスト加工したグローブを付加した照明器具を開発した。また地域性を加味したデザインコンセプトを反映させるためにフレネル凹レンズを用いた付属物を内部に設置し、ボールのデザインについても検討を重ねた。

新照明器具の開発にあたり、多岐にわたり検討を行ったことにより、LED の更なる活用の可能性を見出すことができた。すなわち、指向性の強い光源の拡散方法として素子に付属するレンズなどが主に検討されてきたが、本研究のように照明器具にさらに付属物を追加することで新たな可能性を見出した。加えて、LED は光源と照明器具が一体化しつつある光源であるが、グローブなどの付属物を加えることで「照明器具」の新たな形を提案することができた。

今後は駅の環境評価を行うことで本器具の実用性を検証するとともに、LED などの新光源に対する新たな提案を続けていく。

【謝辞】

最後に、開発に際し多大な御協力を頂いた関係各位に心から謝意を表します。特に、東京急行電鉄株式会社鉄道事業本部電気部電力課

(橋本聡氏、佐々木健之氏) にご協力いただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 『平成 26 年 経済産業省生産動態統計年報 機械統計編』経済産業省大臣官房調査統計グループ、2015. 6.
- 『日本再生戦略～フロンティアを拓き、「共創の国」へ～』閣議決定、2012. 7. 31.
- 柳澤剛、福田佳子、田村明弘：首都圏の駅における光環境に関する調査研究 その 1、平成 16 年度照明学会第 37 回全国大会梗概集、p139、2004.
- 福田佳子、田村明弘、柳澤剛：首都圏の駅における光環境に関する調査研究 その 2、平成 16 年度照明学会第 37 回全国大会梗概集、p140、2004.
- 石田正紀、竹村博行：空間の明るさ感を考慮した JR 宝塚駅の照明手法、照明学会誌、Vol. 95、No. 9、pp622-624、2011.
- 富田泰行：駅空間の照明デザイン、照明学会誌、Vol. 90、No. 3、pp167-171、2006.
- 加藤吉宏、堀越哲美：LED による消費エネルギーを抑制した商業空間の照明デザイン、人間と生活環境、18 (2)、pp83-92、2011
- 浅川久志、馬場洵子、若木守明：高出力 LED を用いた配光制御型照明器具の開発、照明学会誌、Vol. 92、No. 5、pp257-261、2008
- 細田雄司、高橋健治：配光角 300° 超の LED 電球の開発、Panasonic Technical Journal Vol. 58、No. 2、pp67-69、2012. 7
- 赤尾洋二：品質機能展開について、オペレーションズ・リサーチ：経営の科学、26 (8)、pp429-436、1981. 8.
- JIS 照度基準 Z9110-2010
- 照明学会編：照明ハンドブック (第 2 版)、オーム社、2003.、p p. 210-231、310-336、309、389.
- 高乗佑、古賀誉章、魯斌、平手小太郎、水野将明、鈴木直行：輝度のばらつきを考慮した空間の明るさ感の予測に関する基礎的研究、照明学会誌、Vol. 97 No. 8A、pp429-435、2013. 8
- 東京商工会議所：代官山“ブランド”パワーアップ事業 代官山の地域価値に関する調査～Web アンケートの結果から～、渋谷支部 調査・要望一覧、東京商工会議所ホームページ、http://www.tokyo-cci.or.jp/shibuya/policy/、(参照 2016. 2. 19)

注記

- (株) 遠藤照明 ERS3621S を使用
- 点光源の取扱いについて、参 2 (p58) には「電球の光中心と受光面との距離 (測光距離) は電球のガラス球の最大寸法の 10 倍以上にとる」とされており、測光距離 4m は ≧ 光源直径 150 mm × 10、≧ グローブ直径 370 mm × 10 と必要条件を満たしている。
- TOPCON 社製 IM-2D
- Baumer 社製 CCD カメラ、TXG13 c、1392 × 1040、20fps、140 万画素。下記フィッシュアイレンズを用いて撮影。
- Edmund Optics 社製フィッシュアイレンズ 焦点距離 1.4 mm 左右・上下画角 185°
- 露出時間の異なる条件で撮影された (等立体角射影) 複数の画像から各点の輝度値を算出するソフトを用いた。半径 500 セルのエクセルファイルに出力されるようになっており、カメラの画角 (中心からの画角 θ = 92.5°)、総セル数 (N = 785346) と以下の式を用いて、各セルの立体角を算出した。

$$\Delta \omega = \omega / N$$

$$= \int_0^{\theta} (2\pi \times r \times \sin \theta) d\theta / N$$

$$= 2\pi (1 - \cos \theta) / N$$

$$= 8.349 \times 10^{-6} \quad [\text{sr}]$$

同様に中央から 45°、カメラから 2√2m の位置にある直径 370 mm のグローブが内接する正方形の立体角を算出し (≒ 1.71 × 10⁻² [sr]) 輝度分布ファイル上で計算に含めるセル数を算出、各条件 45 × 45 セルと設定した。

- (株) 遠藤照明 EL4652MA を使用

[2016 年 6 月 1 日原稿受理 2016 年 10 月 14 日採用決定]