

2020 年度自転車等研究開発普及事業  
事業実施報告書

# 自転車用前照灯の性能調査

2021 年 3 月

一般財団法人 自転車産業振興協会 技術研究所

## 目次

1. 緒言 .....	2
2. 供試品、試験項目及び測定方法.....	2
2.1 供試品 .....	2
2.2 試験項目と測定方法.....	4
3. 測定結果と考察 .....	7
3.1 最大光度公称値と測定値との関係.....	7
3.2 最大光度と全光束との関係.....	7
3.3 照射角 .....	10
3.4 照射距離 .....	11
3.5 対向者が眩惑を起こす可能性.....	11
3.6 色度座標 .....	12
3.7 発光効率 .....	13
4. 測定結果の詳細 .....	14
4.1 供試品について .....	14
4.1.1 鉛直面と水平面の写真.....	14
4.1.2 中心からの角度と光度との関係.....	15
4.1.3 水平面に照射した時の距離と照度との関係.....	16
4.1.4 中心からの横方向の角度と色温度との関係.....	17
4.2 測定結果の詳細についてのまとめ.....	18
5. 性能表示項目の提案.....	19
5.1 光度、光束及び照射角の関係について.....	19
5.2 水平面の照度について.....	21
5.3 性能表示項目について.....	22
6. 結言 .....	23
7. 参考（各供試品について） .....	24

## 1. 緒言

自転車の前照灯は、夜間又は視界が悪いとき道路上でその自転車の存在を示し、同時に前方の道路上の障害物を確認することができる白色光又は淡黄色光の光線を放つ灯火装置<sup>1)</sup>である。その性能表示(カタログや商品パッケージなど)は、各メーカーとも最大光度(cd)で示されていることが多いため、消費者が購入する際には照射した明るさの最大部しか参考にできず、光の総量、光の広がり、照射距離及び対向者に対する眩惑など、実際に使用してみないとわからない項目が多い。販売店によると、市販されている前照灯の性能の差が分かりにくいという消費者の意見もあり、販売店が実際に使用して性能を確かめ、消費者に説明している店舗も存在する。

そこで、消費者が求めている性能項目である光の総量、光の広がり、照射距離、照射時のイメージ(写真や図など)をもとに、消費者にわかりやすい表示項目は何か調査することとした。

本報告では、前照灯の性能を比較するために、流通量が多いと思われる37種類の前照灯を用いて様々な光学性能(2.2参照)を測定し、その結果をもとに、現状の性能表示が最大光度のみのメーカーが多い理由を考察した上で、消費者が製品購入時に活用しやすい表示項目について提案する。

## 2. 供試品、試験項目及び測定方法

### 2.1 供試品

供試品として、市販されている37銘柄37台の前照灯を使用した。供試品の概要を表1にまとめた。なお、商品テストを目的としていないため、表1に示す以外の前照灯の情報は公表しない。

表 1 供試品概要

No.	重量 (g)	価格帯	JIS準拠	電源	容量 (mAh)	最大光度 (cd)
1	250	HIGH	-	内蔵充電電池	7,000	10,375
2	100	MID	-	乾電池	1,000	820
3	50	MID	-	内蔵充電電池	1,000	3,188
4	100	LOW	○	乾電池	1,000	408
5	200	MID	-	乾電池	1,000	2,003
6	100	MID	○	乾電池	1,000	1,003
7	100	LOW	○	乾電池	1,000	1,010
8	100	LOW	-	乾電池	1,000	990
9	50	MID	-	乾電池	1,000	805
10	50	MID	-	内蔵充電電池	500	910
11	100	LOW	-	乾電池	1,000	1,095
12	100	LOW	-	乾電池	500	41
13	200	LOW	-	内蔵充電電池	2,500	2,138
14	100	LOW	-	内蔵充電電池	2,500	2,365
15	50	MID	-	乾電池	500	2,880
16	100	LOW	-	乾電池	1,000	570
17	100	MID	-	乾電池	1,000	1,468
18	100	MID	-	乾電池	1,000	1,013
19	150	HIGH	-	内蔵充電電池	3,500	5,375
20	250	MID	○	ダイナモ	-	2,640
21	100	MID	-	内蔵充電電池	500	1,620
22	50	MID	○	内蔵充電電池	500	455
23	150	HIGH	-	内蔵充電電池	3,000	2,230
24	100	HIGH	-	内蔵充電電池	3,500	7,165
25	250	MID	-	ダイナモ	-	2,530
26	100	MID	-	乾電池	1,000	2,733
27	250	MID	○	ダイナモ	-	2,573
28	50	LOW	○	乾電池	1,000	800
29	100	LOW	-	乾電池	500	1,153
30	200	LOW	○	ダイナモ	-	2,005
31	200	LOW	-	ダイナモ	-	1,700
32	100	LOW	-	ダイナモ	-	1,763
33	250	LOW	-	ダイナモ	-	965
34	50	MID	-	ダイナモ	-	1,935
35	100	MID	○	乾電池	1,000	873
36	50	MID	-	乾電池	1,000	958
37	50	MID	-	内蔵充電電池	記載なし	1,265

※価格帯に関して、2,000円未満をLOW、5,000円以上をHIGH、その間をMIDとした。

※JIS準拠に関して、カタログや商品などにJIS C 9502に準拠と記載されていた場合、○とした。

※乾電池の容量は使用電池に依存する。今回は単3形1,000mAh、単4形500mAhとした。

## 2.2 試験項目と測定方法

試験項目を表 2 にまとめた。

表 2 試験項目とその概要

	試験項目	概要	測定方法参照規格
a	最大光度	ある方向の単位立体角内に放射される光の量の最大値	JIS C 9502:2021 12.2 (自転車用灯火装置)
b	全光束	1 秒間にランプから放射される光の量	JIS C 7801:2019 7.3 (一般照明用光源の測光方法)
c	照射角	最大光度の 1/2 になる左右 2 点と最大光度点を結ぶ角度	JIS C 8105-5:2014 8.2.3 (照明器具—第 5 部：配光測定方法)
	上方向の照射角	最大光度の 1/2 になる上 1 点と最大光度点を結ぶ角度	JIS C 8105-5:2014 8.2.3
d	照射距離	0.25 lx で照らすことができる距離	ANSI/NEMA FL1:2009 2.2.6 (Flashlight Basic Performance Standard)
e	発光効率	1 W あたりの明るさ(光束)	JIS C 8105-3:2011 (照明器具—第 3 部：性能要求事項通則)
f	色度座標	xy 座標空間で色を表したもの	JIS C 9502:2021 12.3
	色温度	光源の光色を数値で表したもの	JIS C 9502:2021 12.3
g	鉛直面の写真	鉛直面に照射したときの光イメージ	-
h	水平面の写真	水平面に照射したときの光イメージ	-
i	水平面の照度	水平面に照射したときの光の広がり方を照度分布で示したもの	-

### a) 最大光度

最大光度の測定は、当所の暗室（6×2×2 m）を用い、JIS C 9502:2021（自転車用灯火装置）（以後、JIS C 9502:2021 と呼ぶ）12.2 の方法で、前方 5 m 先の白色スクリーン上で点灯から 30 分後の最大照度を計測し、光度を算出した。照度計はコニカミノルタ製 CL-200P を用いた。光度算出の式は、JIS C 9502:2014（自転車用灯火装置）（以後、JIS C 9502:2014 と呼ぶ）14.1.2.4)  $I = EL^2$ （ $I$ ：光度値（cd）、 $E$ ：照度値（lx）、 $L$ ：測定距離（m））を用いた。試験電圧は各供試品の定格値とし、定電圧電源にて給電した。定格値が無記載のものに関しては測定時に電圧を上げていき各供試品記載の光度値となる電圧とした。なお、記載の光度値未達のものに関しては最大光度となる電圧とした。電源がダイナモによる供試品に関して

は、JIS C 9502:2021 12.4.2 手順 a) より、当所所有の発電ランプ運転特性試験機にて 15 km/h で稼働させ、その時の電圧と照度を測定した。



写真 1 暗室と照度測定状況

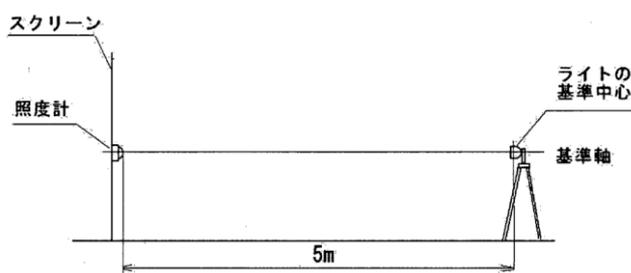


図 1 照度測定の構成

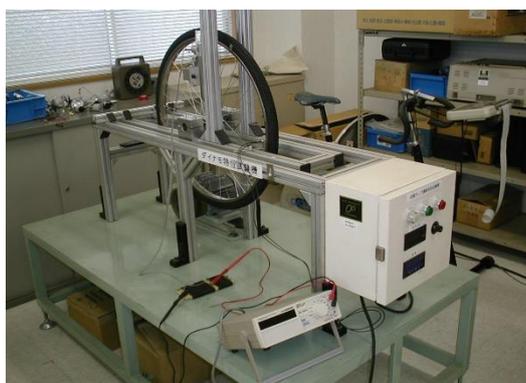


写真 2 発電ランプ運転特性試験機とダイナモ取り付け

b) 全光束

全光束は外部試験機関の積分球  $\Phi 76$  インチを用いて測定した。試験電圧は最大光度測定時と同じ値を用いた。

c) 照射角

照射角は外部試験機関の配光測定システム (2 軸ゴニオメータ) を用い横方向の光度を測

定後、最大光度の 1/2 になる左右 2 点と最大光度点を結ぶ角度を算出した。また、上方向の照射角も同様に縦方向の光度を測定後、最大光度の 1/2 になる上 1 点と最大光度点を結ぶ角度を算出した。外部試験機関の配光測定システムの精度の関係上、照射角は 5° 刻みとした。

d) 照射距離

照射距離は ANSI/NEMA FL1:2009 (Flashlight Basic Performance Standard) (以後、ANSI/NEMA FL1 と呼ぶ) 2.2.6 に示されており、0.25 lx で照らすことのできる距離である。式は、 $(\text{最大光度}/0.25)^{1/2} = \text{照射距離}$ 。ANSI/NEMA FL1 の測定手順では 2、10、30 m の位置で照度を測定し、最大値を記録後、上記の式で算出するが、今回は暗室の関係上 5 m 位置での照度測定の結果を用いた。

e) 発光効率

発光効率は、定格電圧を入力した際の電力を測定し、全光束をその電力で除したものとした。

f) 色度座標と色温度

色度座標と色温度は、外部試験機関の配光測定システム (2 軸ゴニオメータ) を用い測定した。測定方法は、JIS C 9502:2021 12.3 の方法で 30 分点灯後に行った。

g) 鉛直面の写真

鉛直面の写真は、当所の暗室にて、白色スクリーンから 2 m 離れた位置で供試品とカメラを設置し撮影した。カメラはソニー製 NEX-5R、設定は ISO 感度 100、シャッタースピード 1.6 s、F22 とした。

h) 水平面の写真

水平面の写真は、当所の会議室 (最長約 12 m) にて、窓に暗幕とその上を白色度約 70% 壁紙同等の普通紙で覆い、夜間に撮影した。約 1 m の高さから光軸中心が 5° 下方向に傾くよう供試品とカメラを設置した。光軸中心の下方向角度を 5° とした理由は、JIS C 9502:2021 6.2 a) すれ違い用配光より、AB 間が最も明るい点となり、A は下方 3.5°、B は下方 5° のためである。カメラはソニー製 NEX-5R、設定は ISO 感度 200、シャッタースピード 5 s、F22 とした。

i) 水平面の照度

外部試験機関の配光測定システム (2 軸ゴニオメータ) で測定した縦方向、横方向の鉛直面の光度をもとに、高さ 1 m、光軸中心が下方 5° に照射した場合の照度を  $I = EL^2$  (2.2 a) 参照) から算出し、照度分布を作成した。なお、縦横方向以外の未測定部に関しては 縦光度値×横光度値/最大光度値 で算出した。

### 3. 測定結果と考察

#### 3.1 最大光度公称値と測定値との関係

最大光度のメーカー公称値と測定値との比率ごとの供試品数を図 2 に示す。

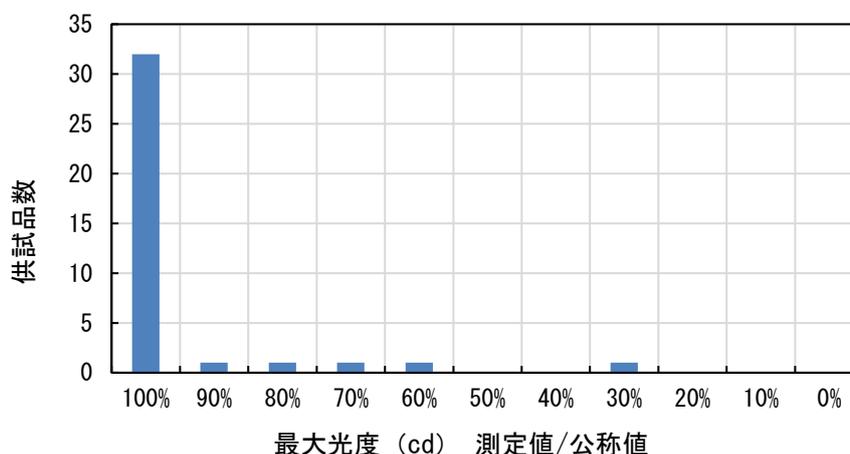


図 2 最大光度の公称値と測定値との比率ごとの供試品数

37 種類の内 32 台の供試品においてメーカー公称値と同等の結果となったが、測定値を公称値で除した値が約 30 %と低い供試品もあった。この供試品は、点灯から時間経過により光度が徐々に低下していき、点灯直後は公称値の約 80 %だったが、30 分で約 30 %、40 分で約 20 %まで低下した。サイズが小さく出力の大きい供試品で熱がこもり易いため、LED 内部で発光に寄与しない電子とホールとの再結合が増加し、光度が低下したと思われる。また、公称値に比べ割合の低い供試品は全て JIS C 9502:2014 に準拠していなかったため、メーカー独自の測定にて公称値を表示している可能性がある。

#### 3.2 最大光度と全光束との関係

最大光度と全光束との関係を図 3 に示す。

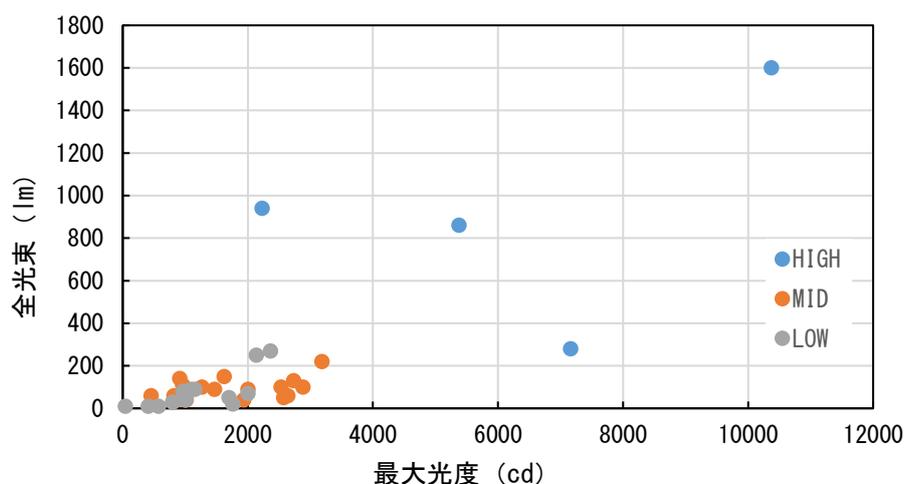


図3 最大光度と全光束との関係

図3より、最大光度が約3,000 cdと高光度（JIS C 9502:2021 6.2 c）で、汎用配光は最大光度換算で800 cd以上）にも関わらず、全光束が100 lm以下と低い供試品も存在した。また、価格の高い供試品に関しては最大光度が大きくなると全光束も大きく、光軸中心だけでなく照射範囲全体を明るく照らしているように思われる。一方、価格帯の中間から低い供試品では最大光度に対して全光束が低い傾向にあった。

次に、照射角が5°以下の供試品だけに絞り、最大光度と全光束との関係を図4に示す。なお、照射角が5°以下の供試品は価格帯がLOWとMIDのみであり、HIGHは含まれていなかった。

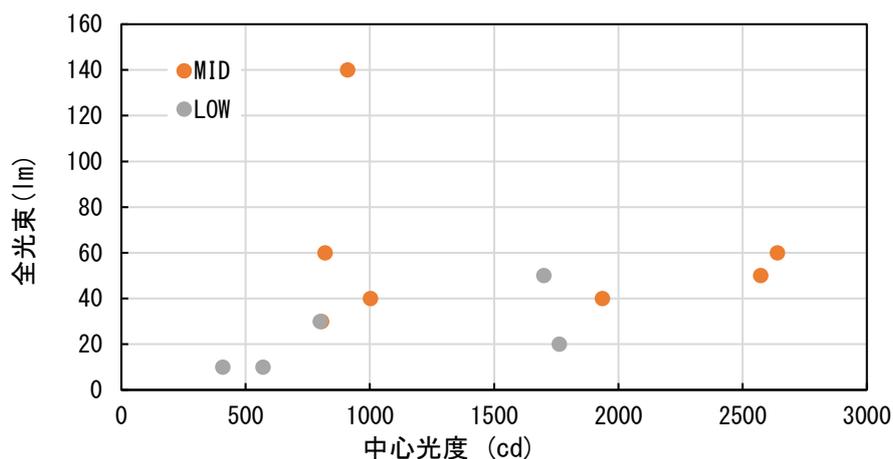


図4 最大光度と全光束との関係（照射角5°以下）

図4より、各供試品の最大光度は、JIS C 9502:2021 6.2 c）汎用配光の最大光度（800 cd）以上になるもの多いが、全光束は50 lm以下と前照灯にしては低いものが多い。価格帯が

低い供試品の多くが照射角を  $5^\circ$  以下に絞ることで全光束は低く且つ最大光度を大きくしていると思われる。なお、一般的に 10 lm は豆電球やろうそく相当の光量、また 50 lm は装飾電球相当の光量である。

図 4 の約 1000 cd 上に 40 lm と 140 lm の供試品が存在するが、どの程度異なるか参考として写真 3 に示す。

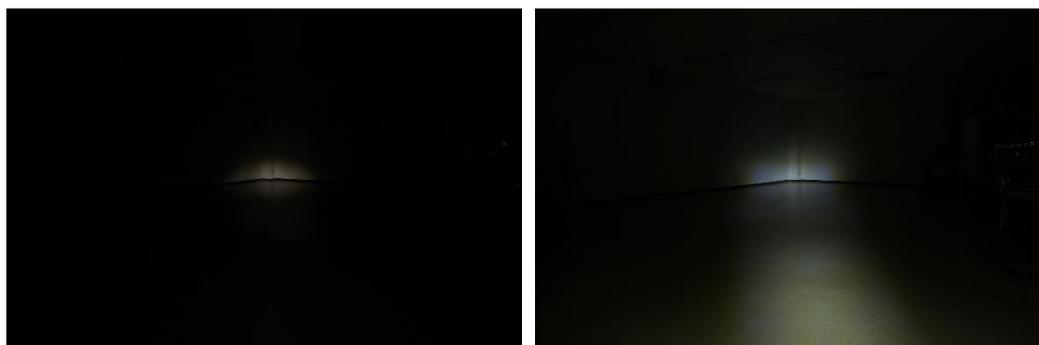


写真 3 水平面の写真、約 1000 cd (左写真 : 40 lm、右写真 : 140 lm)

写真 3 より、2 種ともに最大光度が約 1000 cd と一般的な表示性能は同じにも関わらず、光量の違いは明らかであった。写真 3 は全光束の差であるが、問題は、最大光度のみの表示では光学性能の差を示すことができていないということである。

次に、最大光度と全光束及び照射角との関係を図 5 に示す。

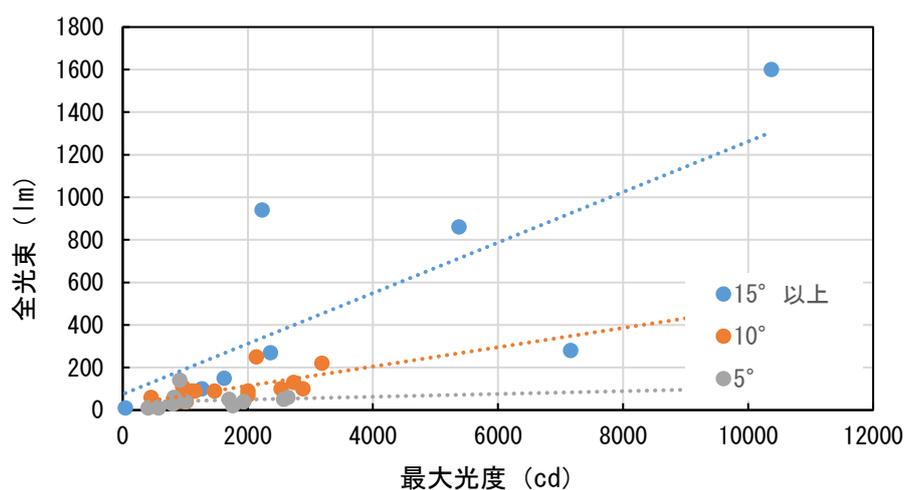


図 5 最大光度と全光束及び照射角との関係

図 5 より傾向として、各供試品は照射角が狭くなるほど、最大光度に対する全光束の割合が小さくなることがわかった。

### 3.3 照射角

照射角ごとの供試品数を示したものを図6に示す。

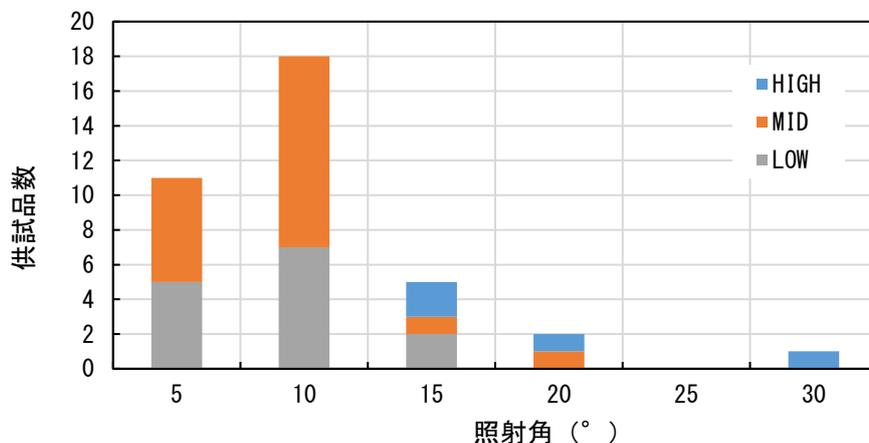


図6 照射角ごとの供試品数

図6より、照射角10°の供試品が最も多かった。価格帯がHIGHの供試品は全て15°以上であった。

また、全光束、照射角及び価格帯の関係を図7に示す。

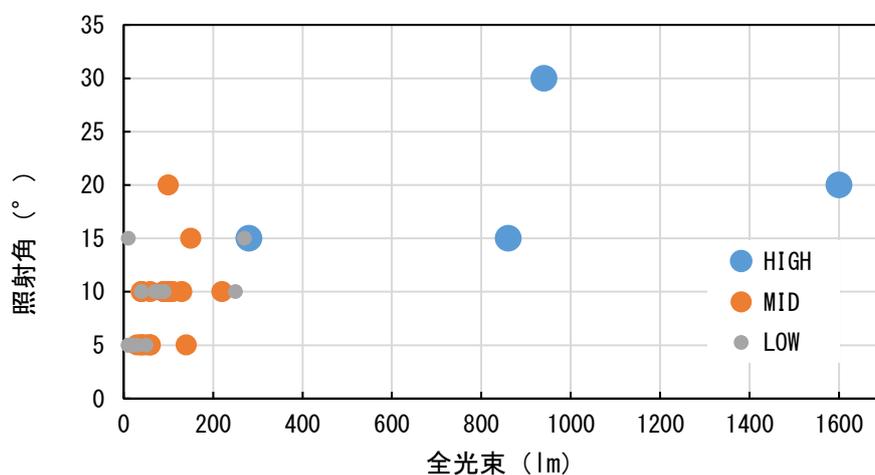


図7 全光束、照射角及び価格帯の関係

図7より、全光束と照射角は価格帯によって大きく差が生じた。消費者が求める性能の一部である全光束と照射角が大きいほど、価格帯も高くなることがわかった。価格が高くなる理由は、出力の大きいLEDチップの採用、出力増大によりLEDの発熱量が増加するため放熱性能の向上が必要なこと、また照射角を広くするため反射板とレンズの設計が

必要なためと思われる。

### 3.4 照射距離

最大光度及び全光束と照射距離との関係を図8に示す。

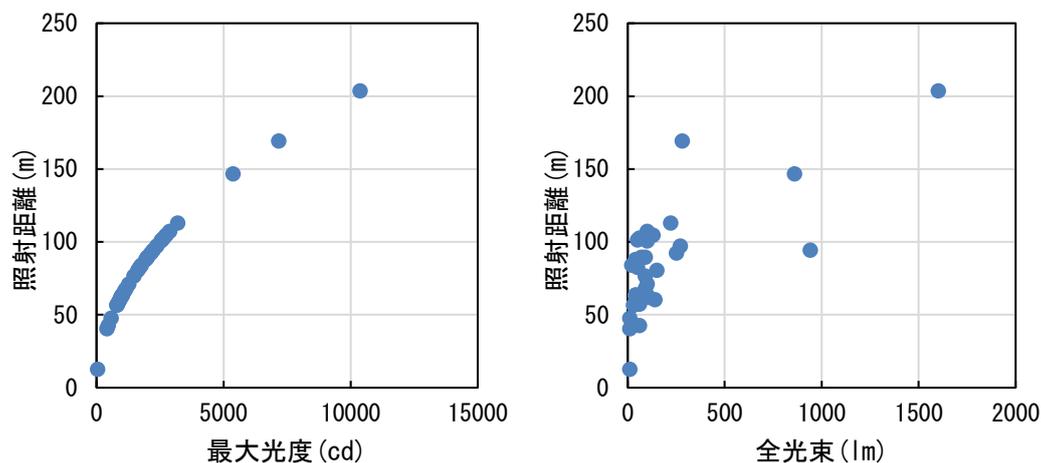


図8 最大光度及び全光束と照射距離との関係

図8の左図より、照射距離は定義の関係上(2.2 d 参照)その製品の最大光度に依存するため、最大光度が大きくなるほど照射距離は長くなった。つまり、最大光度が同等な写真3の供試品はどちらも同じ照射距離となる。

また、図8の右図より、全光束が同等の供試品において照射距離は10 mから110 mの間で様々であった。これは、全光束は同じでも照射角を広げたり狭めたりすることで、最大光度を制御していることが主な原因である。全光束と照射距離との関係においても、全光束が大きくなるほど照射距離が長くなる傾向にあった。

### 3.5 対向者が眩惑を起こす可能性

最大光度と上方向の照射角との関係を図9に示す。

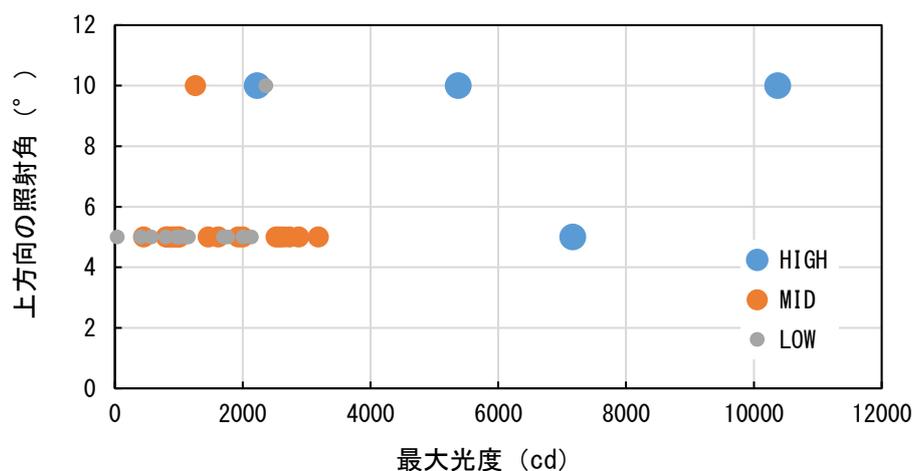


図9 最大光度と上方向の照射角との関係

JIS C 9502:2021 6.2 a) すれ違い用配光 によると AB 間が最も明るい点となり、A は下方 3.5°、B は下方 5° である。上方向の照射角が 5° より広い場合、対向者に光が直接当たる可能性が高い。上方向の照射角が 5° より広い供試品の 60% が価格帯 HIGH であった。最大光度が大きく、上方向の照射角が広いものに関しては対向者が眩惑を起こさないように、製品に取り付け角度の刻印をつけるなど、消費者へ分かりやすく示す必要がある。

### 3.6 色度座標

JIS C 9502:2021 6.4 に規定された色度座標の範囲と、各供試品の色度座標を図 10 に示す。

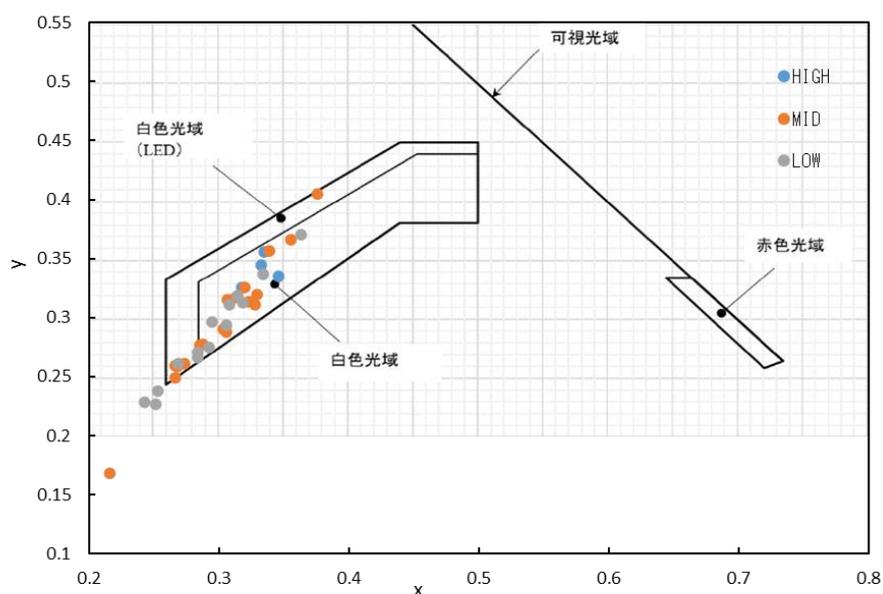


図10 各供試品の色度座標

図 10 より、一部範囲外の供試品もあったが、基本的には白色光域内であった。白色光域外の供試品は価格帯が LOW の製品であった。また、JIS 規定座標外 (x 0.22, y 0.17) の供試品も存在し、それは価格帯が MID であった。夜間の走行に支障をきたす恐れがあるが、どの程度色の違いがあるかは 4.1.4 で示す。

### 3.7 発光効率

最大光度と発光効率との関係を図 11 に示す。

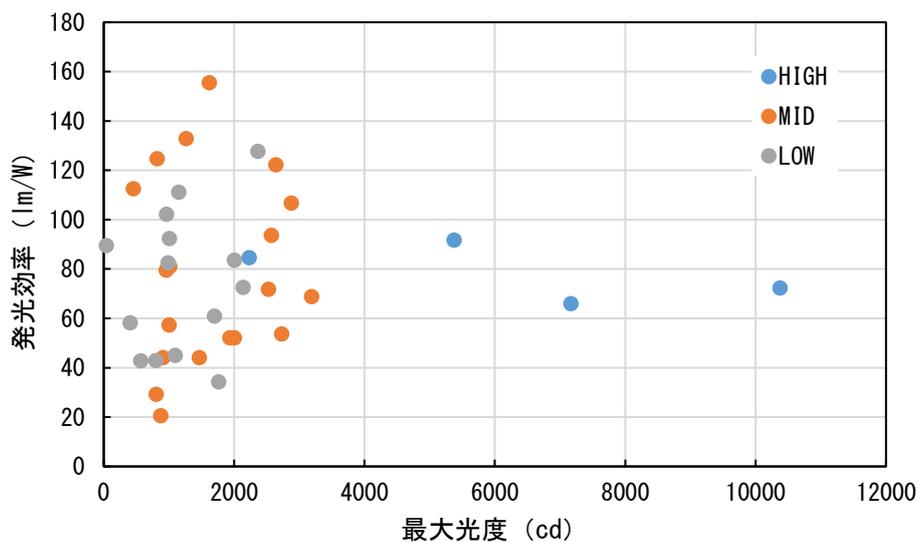


図 11 最大光度と発光効率との関係

図 11 より、発光効率は価格帯や最大光度に依存していなかった。

## 4. 測定結果の詳細

### 4.1 供試品について

鉛直面と水平面の写真、光度曲線、照度分布を用いて、代表的な4台の各供試品の光の広がりを示す。また、3.6にて色度がJIS C 9502:2021 規定範囲外の供試品がいくつか存在したため、光の色を定量的な数値で表現できる色温度、中心からの角度と光度の関係についてまとめ、夜間走行時の安全性について考察する。全ての供試品の詳細については7章を参照していただきたい。

#### 4.1.1 鉛直面と水平面の写真

供試品のうち、代表的な4台の鉛直面と水平面の照射を写真4に示す。また、各供試品の光学性能（光度、光束及び照射角）を写真右に示す。

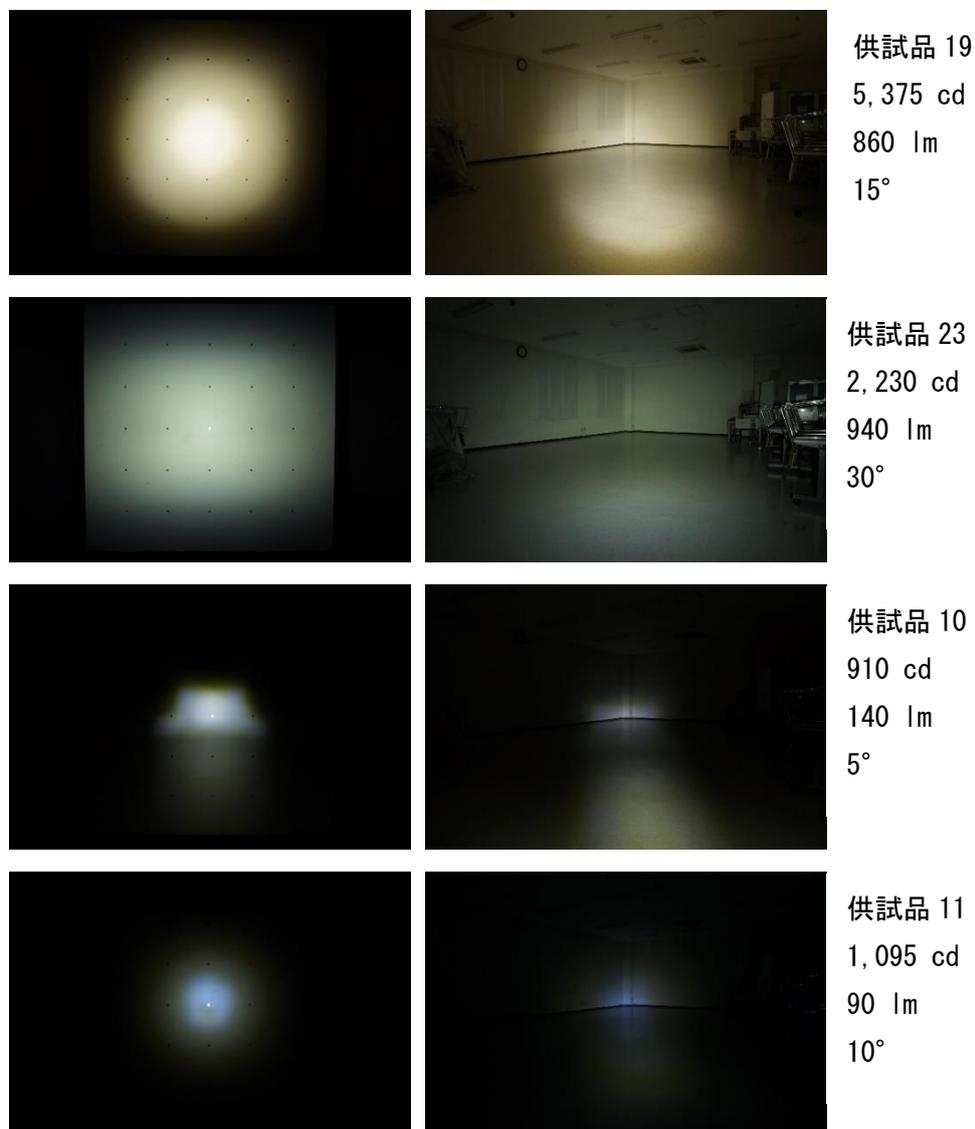


写真4 鉛直面（左）と水平面（右）の写真

写真 4 より、供試品によって形状が円形、楕円、横長形。配光が狭い広い、足元も明るい。光色が赤に近いまた青に近い白色など様々であった。

#### 4.1.2 中心からの角度と光度との関係

4 台の供試品の中心からの角度と光度との関係を図 12 に示す。

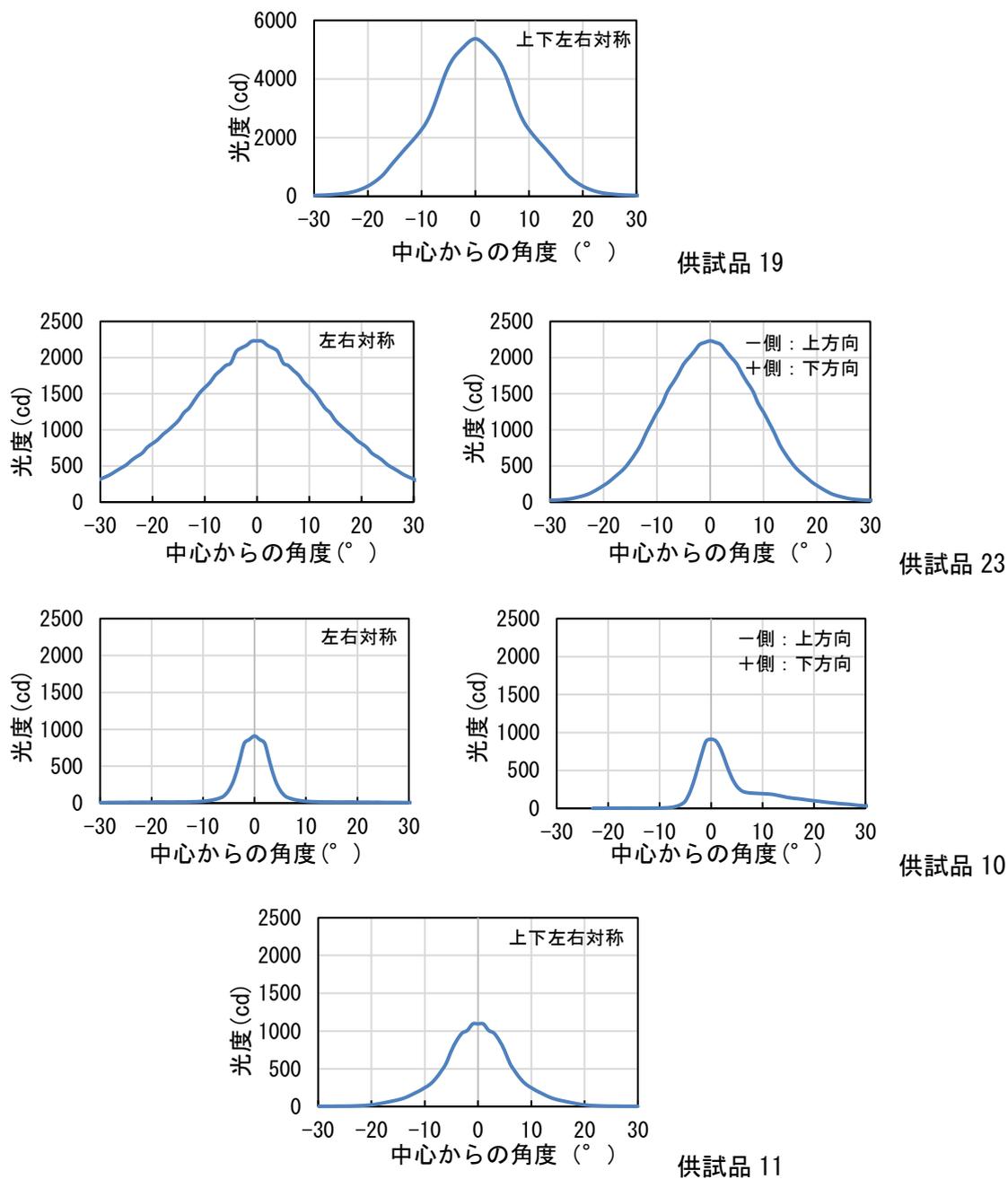


図 12 中心からの角度と光度との関係  
(供試品 19 のみ光度範囲が異なるため注意)

図 12 より、供試品 19 の光度は最大で 5,375 cd、横方向と縦方向の照射角は 15° であり、他の供試品に比べ光の広がり大きい乗員の視界は広い。中心から上方向の照射角も約 10° となり大きいため、対向者への眩惑に注意が必要である。

供試品 23 の光度は最大で 2,230 cd、横方向の照射角は 30°、縦方向の照射角は 20° だった。中心から上方向の照射角も約 10° となり大きい、横に比べ縦の照射角は狭く楕円配光となっており、対向者の眩惑への考慮が伺える。

供試品 10 の光度は最大で 910 cd、横方向と縦方向の照射角は 5° だった。中心から上方向の照射角は 5° 以下と狭いため対向者への眩惑は少なく、下方向の照射は数十 cd の光が 40° 近傍まで続くため、足元は明るい。そのため乗員の使いやすさと対向者の眩惑の両方に考慮した設計であった。

供試品 11 の光度は最大で 1,095 cd、横方向と縦方向の照射角は 10° だった。中心から上方向の照射角も 5° 以下と狭いため、対向者への眩惑は少ない。

#### 4.1.3 水平面に照射した時の距離と照度との関係

4 台の供試品の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 13 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は前方の距離である。照度は等値線図で示した。

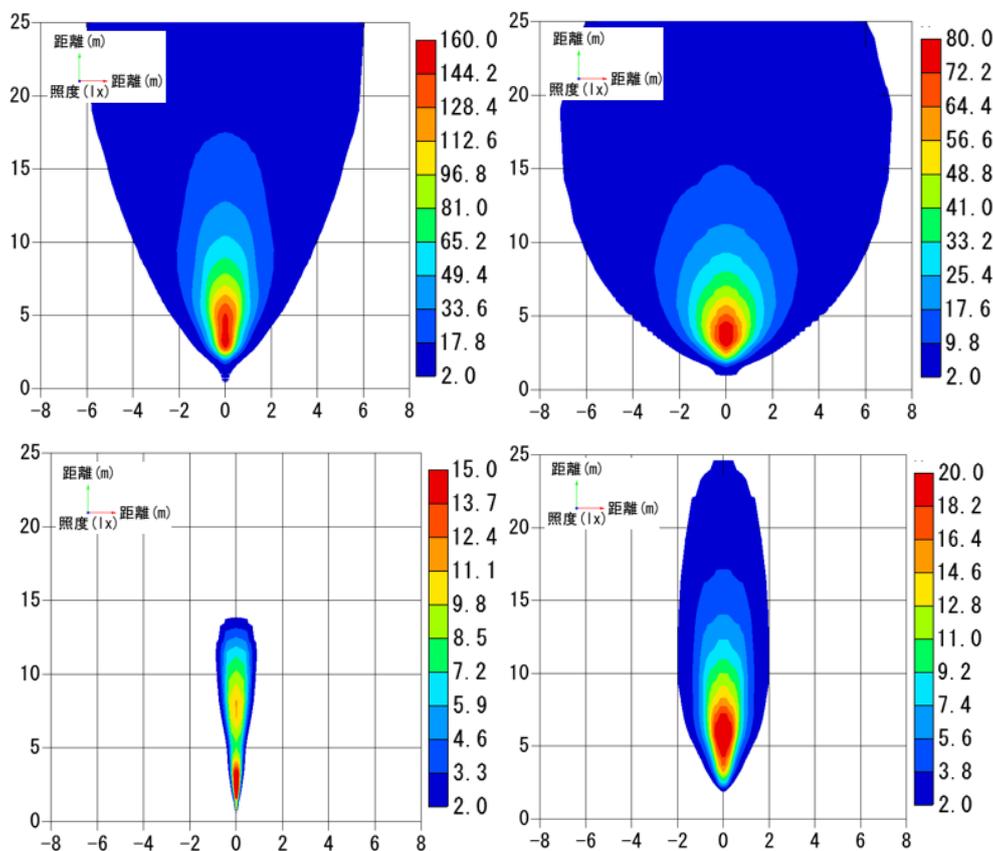


図 13 水平面に照射した時の距離と照度との関係

左上から順に供試品 19、23、10 及び 11

図 13 より、供試品 19 は 1 m の高さから光軸を下方向へ 5° 傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 156.9 lx となった。4 m 先の人の挙動、姿勢等が識別できる照度は 3 lx<sup>2</sup>であるが、供試品 19 において、3 lx になるまでの距離（以後、照度距離と呼ぶ）は約 40 m だった。供試品 23 は最大照度約 83.9 lx、照度距離は約 27 m。供試品 10 は最大照度約 18.0 lx、照度距離は約 13 m。供試品 11 は最大照度約 22.3 lx、照度距離は約 18 m だった。

#### 4.1.4 中心からの横方向の角度と色温度との関係

4 台の供試品の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 14 に示す。

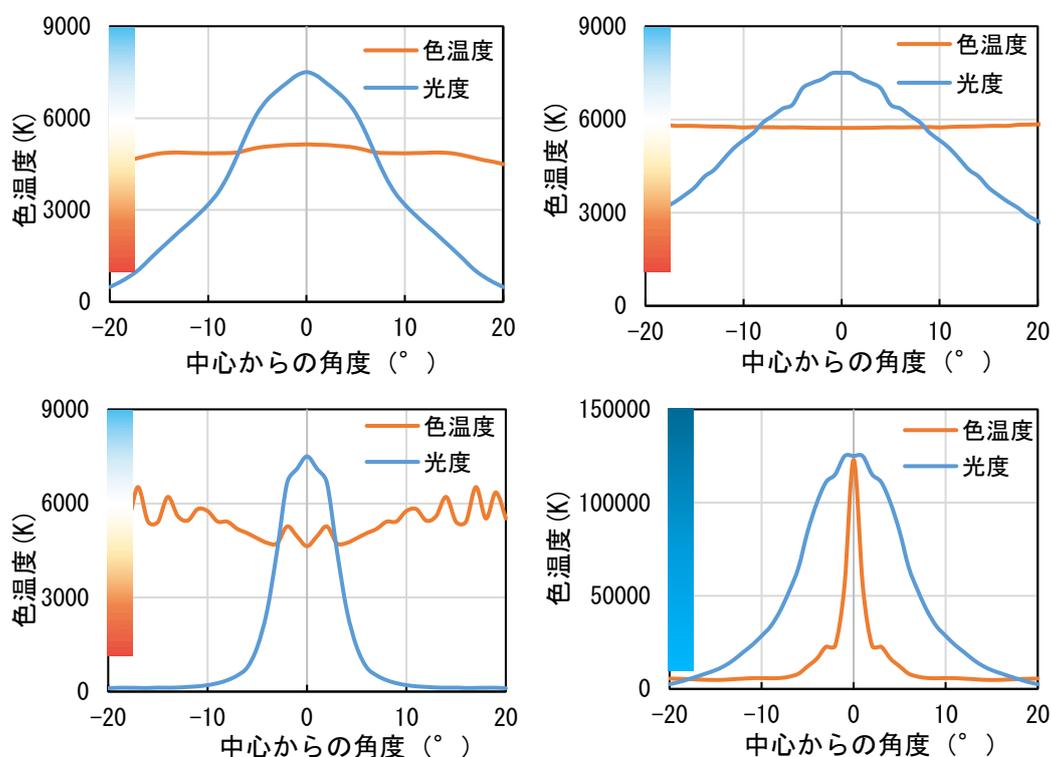


図 14 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）  
カラーバーは参考色 左上から順に供試品 19、23、10 及び 11

図 14 より、供試品 19 の色温度の平均は 4,874 K。また、色温度の最大は 5,143 K、最小は 4,495 K であり、色温度差は 648 K であった。色むらは非常に小さく、色温度も低いため、夜間に雨や霧の中を走行しても前方がよく見え、安全性に優れた設計であった。

供試品 23 の色温度の平均は 5,910 K。また、色温度の最大は 6,239 K、最小は 5,727 K であり、色温度差は 512 K と色むらは非常に小さかった。

供試品 10 の色温度の平均は 5,442 K。また、色温度の最大は 6,522 K、最小は 4,636 K であり、色温度差は 1,886 K と色むらは少なかった。

供試品 11 の色温度の平均は 13,441 K。また、色温度の最大は 123,015 K、最小は 4,802 K であり、色温度差は 118,213 K であった。±5° の範囲では青色であり、色度においても JIS C 9502:2021 6.4 に規定された色度座標の範囲外の供試品である。夜間の走行時に使用する際は、前方が見えにくい可能性があるため注意が必要である。

#### 4.2 測定結果の詳細についてのまとめ

4.1 と各供試品の結果（7 章参照）から、縦配光と横配光が同じ円形配光の供試品が多かった。一部の供試品に関しては、横配光と下配光は広く、上配光だけ対向者の幻惑の関係で狭くしているものもあり、乗員の使用と対向者に考慮した設計であった。

また 4.1 では、代表的な供試品 4 台の光の明るさや広がりやを、写真（4.1.1）、光度曲線（4.1.2）、水平面の照度分布（4.1.3）の 3 つで表した。各表示の特徴だが、写真に関しては、消費者が一目でイメージしやすいという利点があるが、各メーカーそれぞれがカメラ条件と撮影環境を同等にすることが困難であることから、同じメーカーの製品比較にしか使えないという欠点があった。光度曲線に関しては、鉛直面の光度を測定するため比較的容易に結果を出すことが可能だが、光度曲線を表示しても消費者は広がりをイメージしにくい可能性が高いことがわかった。水平面の照度分布に関しては、実際の使用状況に近いものであるため消費者はイメージしやすいが、前照灯の取り付け高さや光軸角度（供試品の傾き）を定義し、各メーカーの製品を比較できるようにする必要があることがわかった。

色温度に関して、JIS C 9502:2021 6.4 色度図規定の範囲内にある供試品に関しては大きな問題はないと思われるが、ISO 6742-1:2015 (Cycles – Lighting and retroreflective devices – Part 1: Lighting and light signalling devices) Annex B Figure B.1 にある色温度の表示（JIS は色温度の表示なし）を見ると、白色光域は 6,500 K 強の部分にあり、xy 色度図と黒体軌跡の関係から、約 8,000 K 以上は白色光域外となる。光軸中心が 8,000 K 以上の青白い供試品も多く見られたため、散乱の影響を受けやすい雨や霧の中での青白い前照灯の使用には注意が必要である。

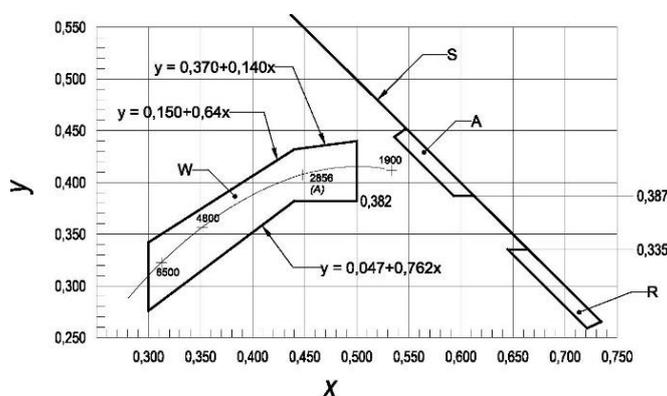


図 15 色度座標と色温度との関係（ISO 6742-1 Annex B Figure B.1 より抜粋）  
色温度の表示は 1,900、2,856、4,800、6,500 K と記載あり

## 5. 性能表示項目の提案

3章と4章の結果から、現状の一般的な表示項目である光度のみでは消費者が求める光学性能（総量、広がり、照射距離など）がわかりにくく、光度が同じでも様々な性能の供試品が存在した。5章では光度が同等の供試品の水平面に照射した写真にて現状を整理した後、消費者が求める光学性能を加え比較検討、最後に表示項目について提案する。

### 5.1 光度、光束及び照射角の関係について

最大光度約 1,000 cd の供試品の水平面への照射画像を写真 5 に示す。光度は各メーカー共通の表示項目である。

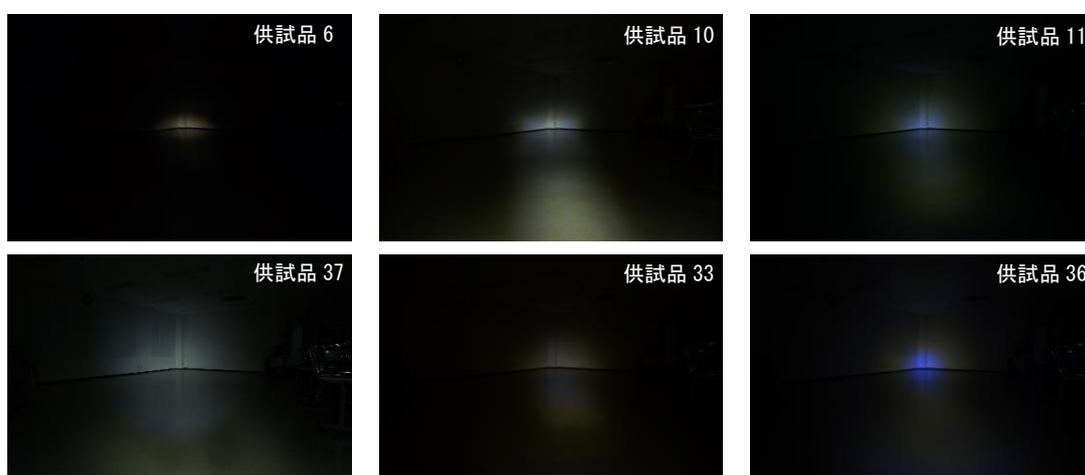


写真 5 最大光度約 1,000 cd 供試品の水平面への照射

写真 5 のように、光度が同じであっても、明るさも光の広がりも異なる。この原因は、光度が 1 方向だけの明るさを数値化したものであり、全体の明るさや光の広がりなどがわからないからである。

次に、最大光度が同等の別の供試品の水平面への照射画像を写真 6 に示す。



写真 6 最大光度 2,230 cd (左) と 2,880 cd (右) の水平面への照射

写真6で示した2つの供試品の最大光度は同等であるが、全光束は右の方が小さい。これは、光軸中心だけを明るく、例えば光を反射板などで絞り集光するなどしていれば、光の総量を大きくせずとも光度の数值は大きくなるからである。写真6の全光束は左図940lm、右図100lmである。光度は両者同等だが全光束は約9倍の違いがあり左図の方が大きい。

次に、同等の光度または全光束で照射角が異なる供試品を写真7と写真8に示す。



写真7 最大光度 2,230 cd、照射角 30°（左）と 2,573 cd、5°（右）



写真8 全光束 100 lm、照射角 20°（左）と 90 lm、10°（右）

写真7より、最大光度が同等で照射角が異なるものを比較すると、光軸中心の明るさは同じであるが照らす範囲が異なることがわかる。また、写真8より、全光束が同じで照射角が異なるものを比較すると、光軸中心の明るさ（左1,265 cd、右2,003 cd）と照らす範囲も異なることがわかる。カタログなどの性能表示が全光束と照射角であると、写真8の左の方が右よりも全光束と照射角の値が大きいため、光軸中心が明るく、より広がりがあると思われる可能性がある。

以上より、照射角が変わると全光束が同じでも光軸中心の明るさ（最大光度）は変化する。消費者は光軸中心の方向（前方）を見て走行するため、消費者が分かりやすい表示としては、最低でも光度と照射角（全光束があれば尚よい）の表示が必要と思われる。

## 5.2 水平面の照度について

前照灯の光度や光束で明るさを表現する場合、それらは前照灯から直接出た光を定義するため、乗員が前方を見た時の明るさとは異なる。乗員は前照灯から照射され前方で反射した光を見るため、乗員から見た時の明るさは水平面の照度となる。

写真7と写真8を照度分布で示したものが図16と図17である。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

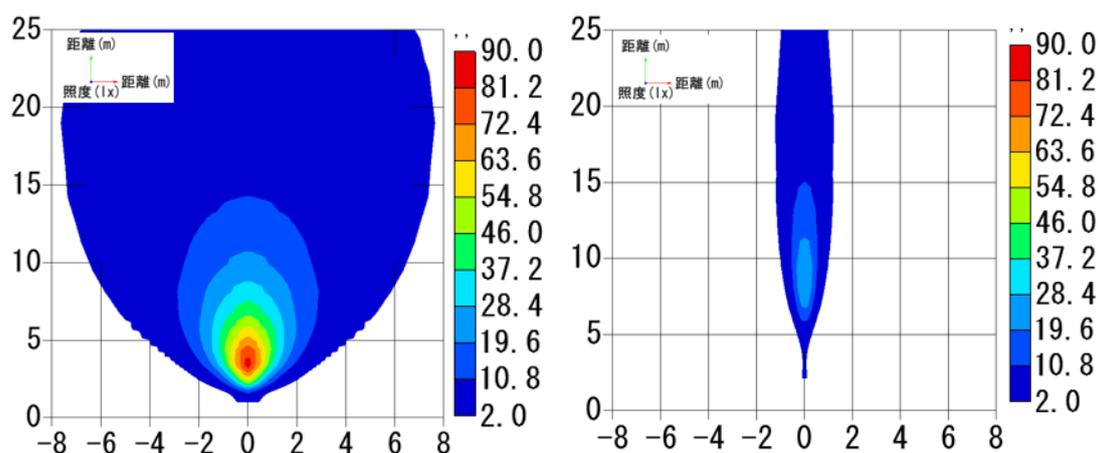


図16 写真7の照度分布 光度が同等の供試品 (No. 23、27)

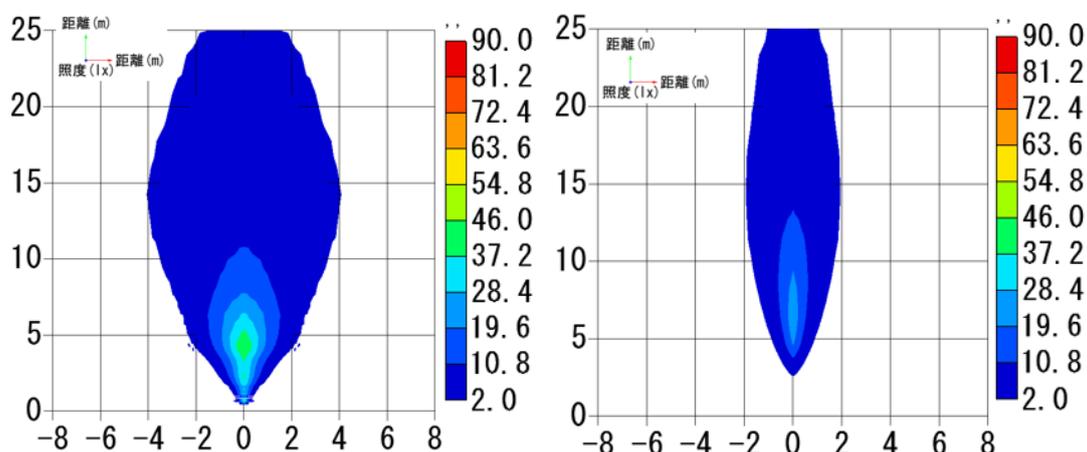


図17 写真8の照度分布 全光束が同等の供試品 (No. 37、5)

図16と図17より、1mの高さに前照灯を設置し光軸を $5^\circ$ 傾けて走行した場合、写真7と写真8の最大照度は順に、83.9 lx、28.0 lx、44.2 lx、25.0 lxとなった。各供試品で光軸の傾きが同じにも関わらず最大照度となる距離が異なるのは、下方向の広がり大きいほど乗員に近い距離で反射するため照度が大きくなるからである。図16と図17ともに、前方への照射、横の広がり全体と全体の明るさを消費者は一目でイメージできる。

水平面の照度を用いて明るさ、広がり、照射距離を定義することが乗員にとって最もわかりやすいが、自転車などの位置に前照灯を取り付けるか（例えばハンドルバーか、前ホークか）によって、また、乗員がどの角度に前照灯を傾けるかによって水平面の照度は変わってくる。光学性能を測定する際、どの車両でも適応する、もしくは数種類にわけて、取り付け高さや光軸角度の基準値を決めることができれば、最も乗員に適したカタログなどの性能表示となる可能性が高いと思われる。

### 5.3 性能表示項目について

5.1と5.2より、カタログ・パッケージなどの性能表示を提案する。販売店から得られた消費者が求めている性能項目である光の総量、光の広がり、照射距離、照射時のイメージ（写真や図など）を基に、2案示した。

案① 製品単体の光学性能で示す。

- ・カタログの性能項目は鉛直面の”光度”と”照射角”（全光束があれば尚よい）。

利点：測定が容易な鉛直面で測定した光度を用いてスペックを記載できる。

欠点：鉛直面の測定結果のため実際の使用状況と異なる。消費者が照射のイメージをすることは困難だが、数値での比較は可能。

案② 製品取り付け後、乗員から見た時の光学性能で示す。

- ・カタログの性能項目は水平面の”最大照度”と”照度分布”（縦と横方向の広がり）。

利点：実際の使用状況と一致する。照度分布により消費者は容易にイメージが可能。

欠点：測定時の取り付け高さや光軸角度を定義する。もしくは、各車両の取付基準で測定した結果を表示する必要がある。

## 6. 結言

今回、37 銘柄 37 台の前照灯を使用して、暗室と配光測定システムを用いて光学性能を評価し、消費者がわかりやすい性能表示について提案した。その過程で以下のことがわかった。

- 1) JIS C 9502:2021 12.2 の方法で測定したとき、最大光度の公称値に満たない供試品が一部存在した。それらの供試品は、メーカー独自の方法で測定し最大光度を表示しているものと思われる。
- 2) 今回の測定では、照射角を狭くすることで全光束が小さくとも最大光度のみを大きくしている供試品が確認できた。特に価格帯の低い供試品で多数見られた。
- 3) 価格帯が高いほど、光度、全光束及び照射角も大きくなる傾向にあった。価格帯の低い供試品は光度、全光束及び照射角が小さくなる傾向にあり、さらに一部の供試品は JIS C 9502:2021 6.4 規定の白色光域の色度範囲から外れていた。JIS 規定範囲外の製品を使用する場合、散乱の影響を受けやすい雨や霧の中では前方が見えにくくなる可能性がある。
- 4) 各供試品の中心から横方向と縦方向の光の広がりを確認した結果、全体の傾向として、照射角が広い供試品に関しては、対向者の眩惑の可能性のある上方向の照射角も広くなる傾向にあったが、光学設計により、上方向の広がりを抑えつつ、下方向の広がりを大きくした供試品もいくつか存在した。そのため、消費者へより良い性能を表示するには、縦方向の広がりも重要な項目である。
- 5) 最大光度が同じ供試品であっても、乗員から見た水平面の照度分布は異なるものが多い。そのため、性能表示の提案として、最大光度または最大照度表示だけではなく、光の広がりを定義する必要があることがわかった。広がりに関しては、照射角または水平面の照度分布が適切と思われる。

今回測定した供試品の中には、電動アシスト自転車や小型電動車両などに附属する高電圧の前照灯は含まれていない。また、各供試品のどの部品がどの光学性能に影響するのか、何を変えればより良くなるのか、要因を特定できていない。今回調査できなかった事項について、次年度も引き続き調査を行う予定である。

### 参考文献

- 1) JIS C 9502 自転車用灯火装置 2021
- 2) 警察庁丙生企発第 38 号 注 2 「安全・安心まちづくり推進要綱」の改正について 2020
- 3) ANSI/NEMA FL 1 (Flashlight Basic Performance Standard) 2009

## 7. 参考（各供試品について）

4章に続き、各供試品の詳細（2.2 a, c, f, g, h, i）について示す。

### 7.1 供試品1について

供試品1の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真9に示す。

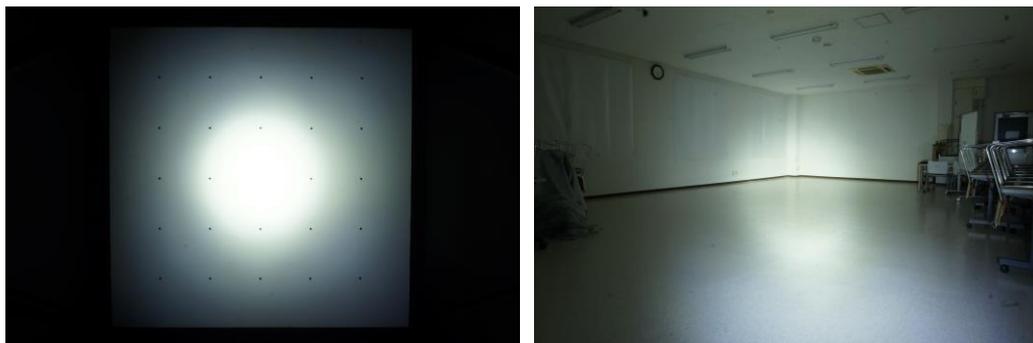


写真9 鉛直面（左）と水平面（右）

写真9より、鉛直面写真から供試品1は円形配光であった。

供試品1の中心からの角度と光度との関係を図18に示す。

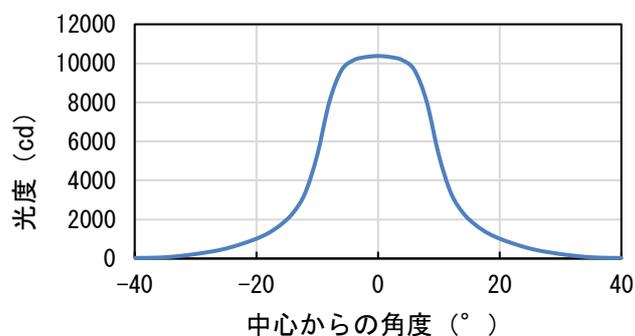


図18 中心からの角度と光度との関係

図18より、光度は最大で10,375 cd、横方向と縦方向の照射角は $20^{\circ}$ であり、他の供試品に比べ光の広がり大きい（広がりイメージは写真9（右）を参照）。中心から上方向の照射角も約 $10^{\circ}$ と大きいため、対向者への眩惑に注意が必要である。

供試品1の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図19に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

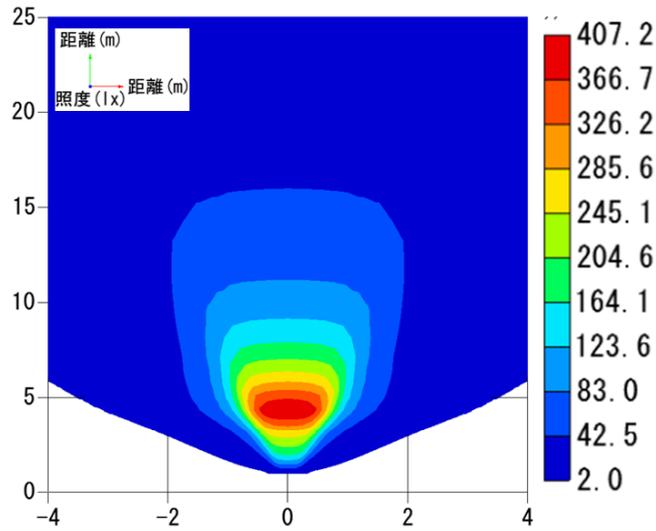


図 19 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 19 より、1 m の高さから光軸を下方向へ $5^\circ$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 407.2 lx となった。照度距離は約 58 m だった。

供試品 1 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 20 に示す。

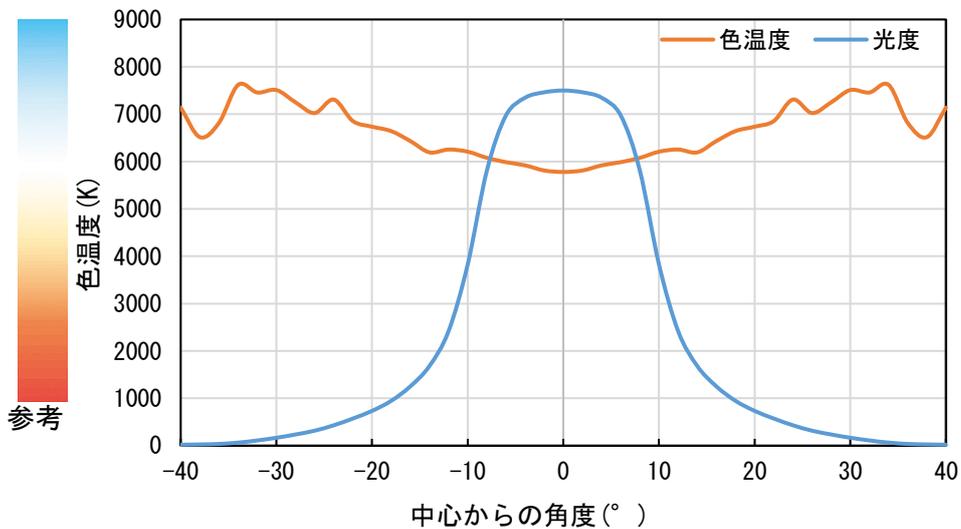


図 20 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 20 より、色温度の平均は 6,658 K（写真 9 参照）。また、色温度の最大は 7,019 K、最小は 5,780 K であり、差は 1,839 K であった。色むらは少なかった。

## 7.2 供試品 2 について

供試品 2 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 10 に示す。

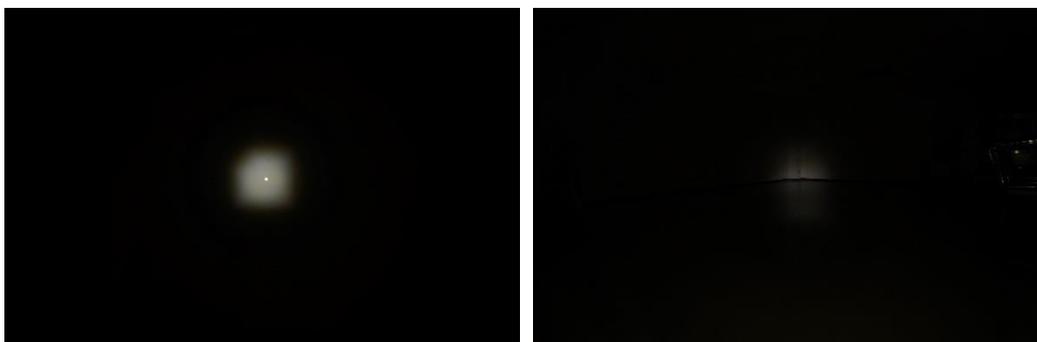


写真 10 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 10 より、鉛直面写真から供試品 2 は円形配光であった。

供試品 2 の中心からの角度と光度との関係を図 21 に示す。

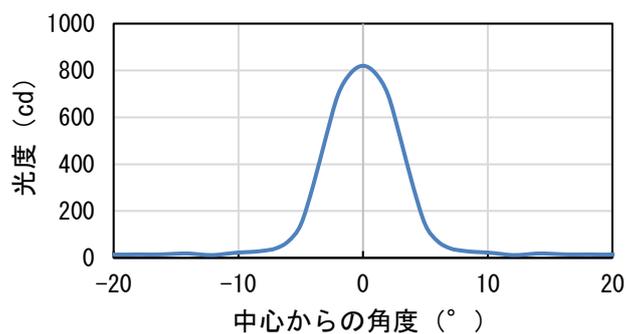


図 21 中心からの角度と光度との関係

図 21 より、光度は最大で 820 cd、横方向と縦方向の照射角は  $5^{\circ}$  で狭い（広がりイメージは写真 10（右）を参照）。中心から上方向の照射角も  $5^{\circ}$  以下と狭いため、対向者への眩惑は少ない。

供試品 2 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 22 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

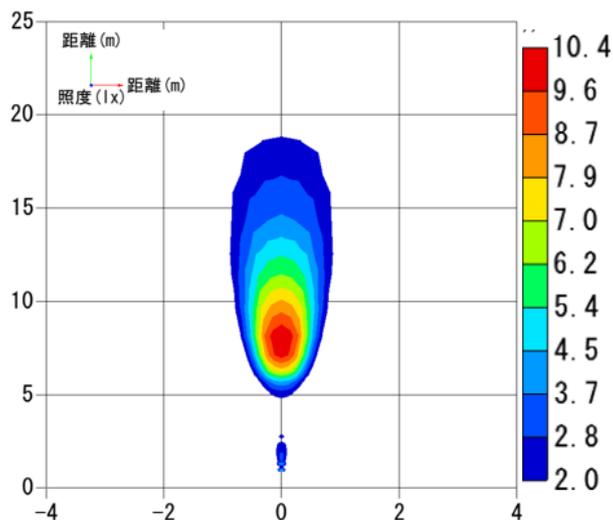


図 22 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 22 より、1 m の高さから光軸を下方向へ $5^{\circ}$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 10.4 lx となった。照度距離は約 16 m だった。

供試品 2 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 23 に示す。

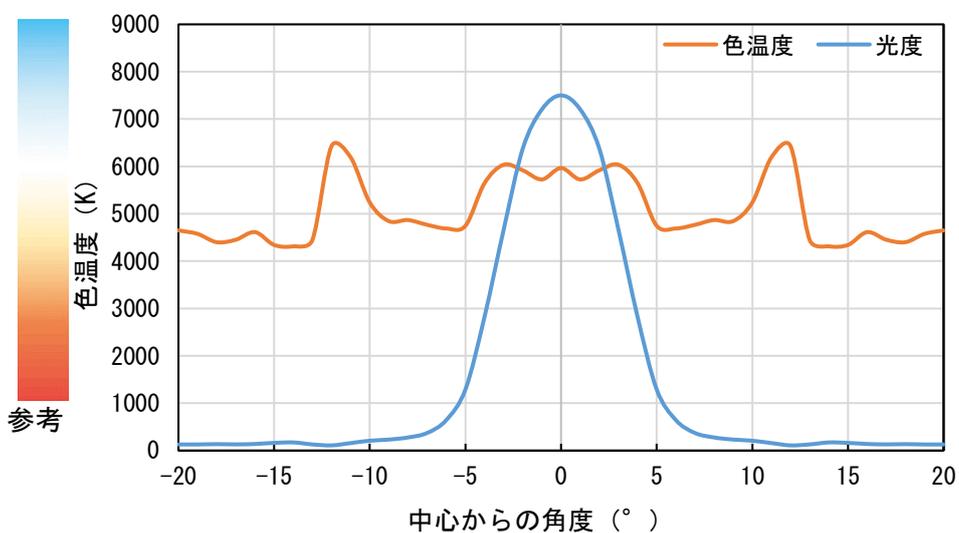


図 23 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 23 より、色温度の平均は 5,067 K（写真 10 参照）。また、色温度の最大は 6,426 K、最小は 4,313 K であり、差は 2,113 K であった。色むらは少なかった。

### 7.3 供試品 3 について

供試品 3 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 11 に示す。

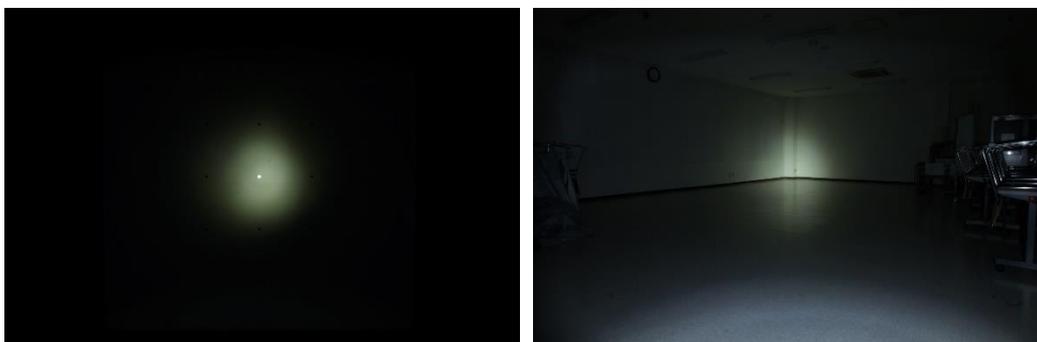


写真 11 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 11 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であり、水平面へ照射した光は手前と奥で光の広がり異なることがわかった。

供試品 3 の中心からの角度と光度との関係を図 24 に示す。

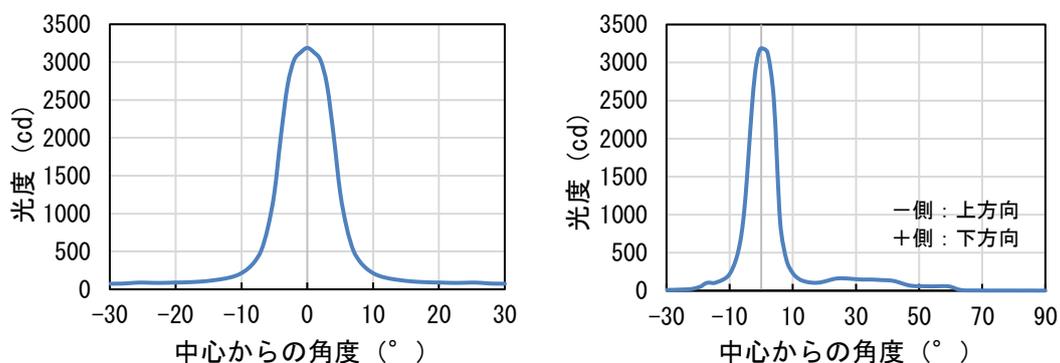


図 24 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 24 より、光度は最大で 3,188 cd、横方向と縦方向の照射角は  $10^{\circ}$  だった（広がりイメージは写真 11（右）を参照）。中心から上方向の照射角は  $5^{\circ}$  以下と狭いため対向者への眩惑は少なく、下方向の照射は数百 cd の光が  $70^{\circ}$  近傍まで続いたため、足元は明るい。そのため乗員の使いやすさと対向者の眩惑の両方に考慮した設計であった。

供試品 3 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 25 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

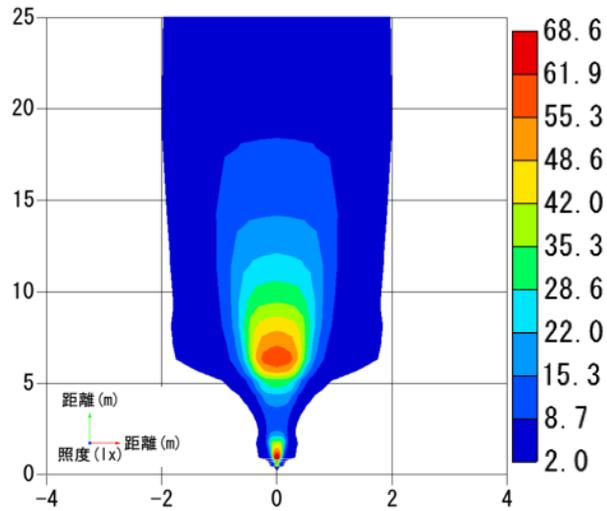


図 25 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 25 より、1 m の高さから光軸を下方向へ $5^{\circ}$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 68.6 lx となった。照度距離は約 28 m だった。

供試品 3 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 26 に示す。

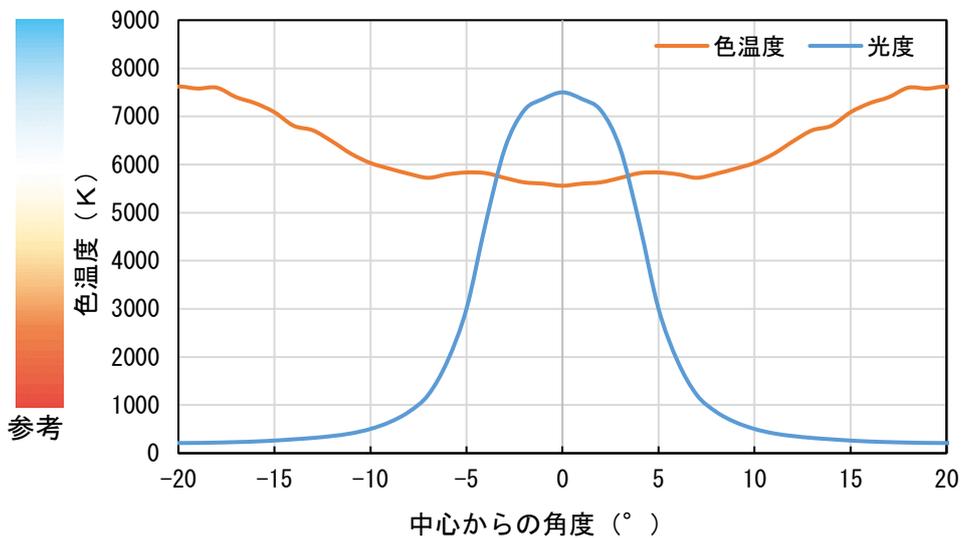


図 26 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 26 より、色温度の平均は 6,412 K（写真 11 参照）。また、色温度の最大は 7,620 K、最小は 5,559 K であり、差は 2,061 K であった。色むらは少なかった。

#### 7.4 供試品 4 について

供試品 4 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 12 に示す。

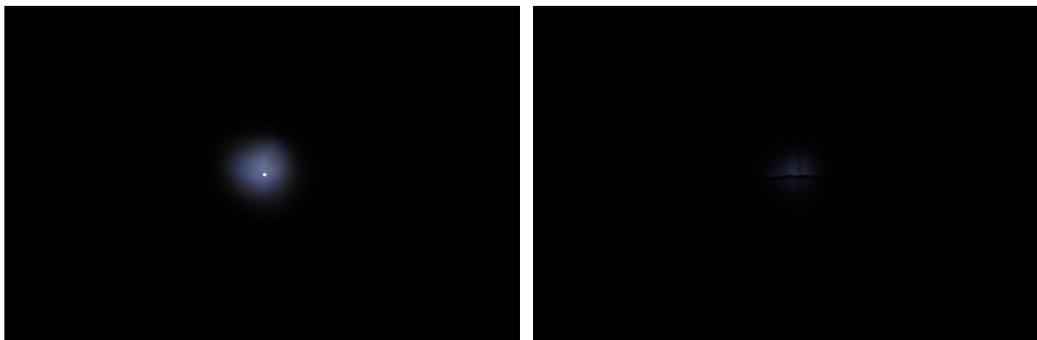


写真 12 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 12 より、鉛直面写真から供試品は円形配光。目視で確認した限り、青白い光であった。

供試品 4 の中心からの角度と光度との関係を図 27 に示す。

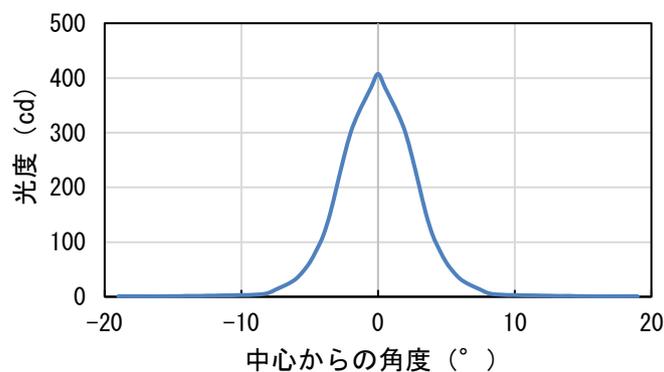


図 27 中心からの角度と光度との関係

図 27 より、光度は最大で 408 cd、横方向と縦方向の照射角は  $5^{\circ}$  だった（広がりイメージは写真 12（右）を参照）。中心から上方向の照射角も  $5^{\circ}$  以下と狭いため、対向者への眩惑は少ない。

供試品 4 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 28 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度はカラーで示した。

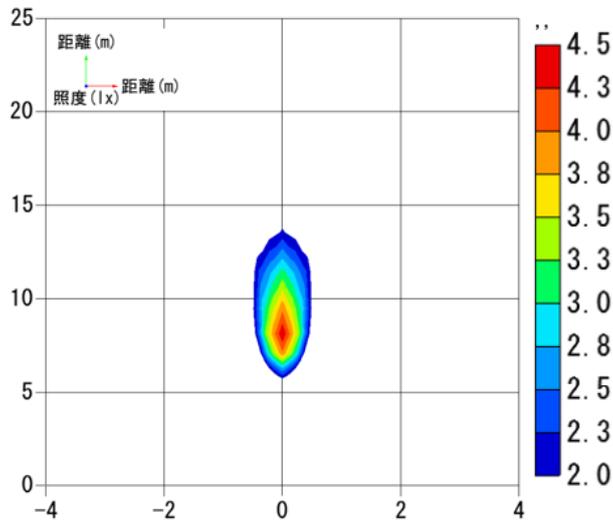


図 28 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 28 より、1 m の高さから光軸を下方へ  $5^\circ$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 4.5 lx となった。照度距離は約 12 m だった。

供試品 4 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 29 に示す。

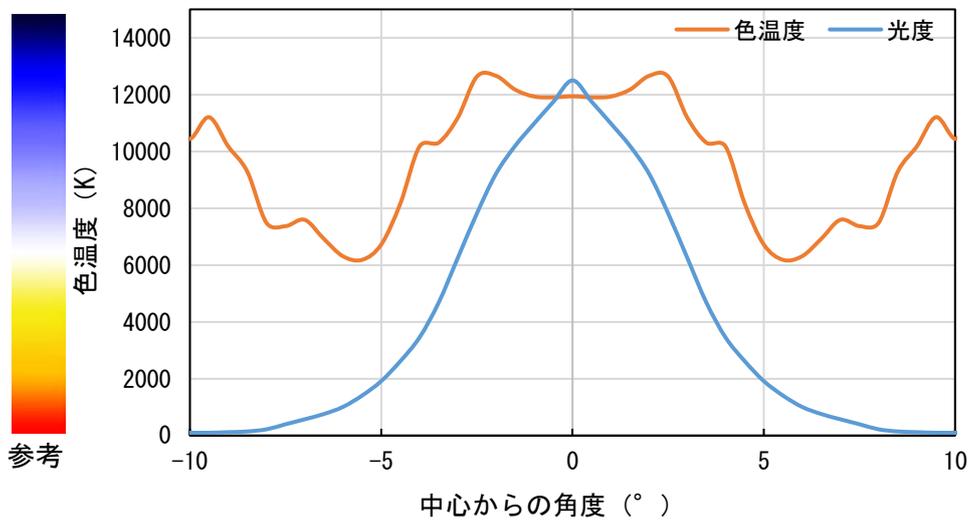


図 29 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 29 より、色温度の平均は 9,600 K（写真 12 参照）。また、色温度の最大は 12,660 K、最小は 6,184 K であり、差は 6,476 K であった。写真 7 が青白く見えた理由は、 $\pm 3^\circ$  間の中心部が約 12,000 K 以上で青いたためであった。

## 7.5 供試品 5 について

供試品 5 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 13 に示す。



写真 13 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 13 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。

供試品 5 の中心からの角度と光度との関係を図 29 に示す。

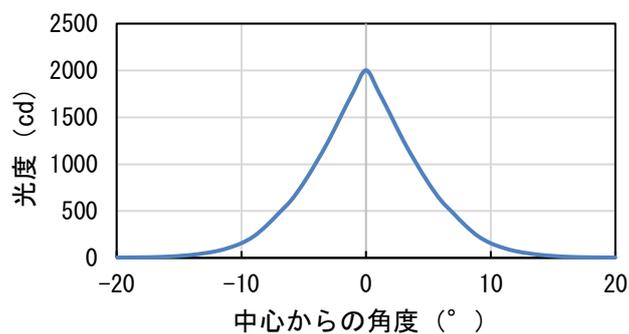


図 30 中心からの角度と光度との関係

図 30 より、光度は最大で 2,003 cd、横方向と縦方向の照射角は  $10^\circ$  だった（広がりイメージは写真 13（右）を参照）。中心から上方への照射角も  $5^\circ$  以下と狭いため、対向者への眩惑は少ない。

供試品 5 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 31 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

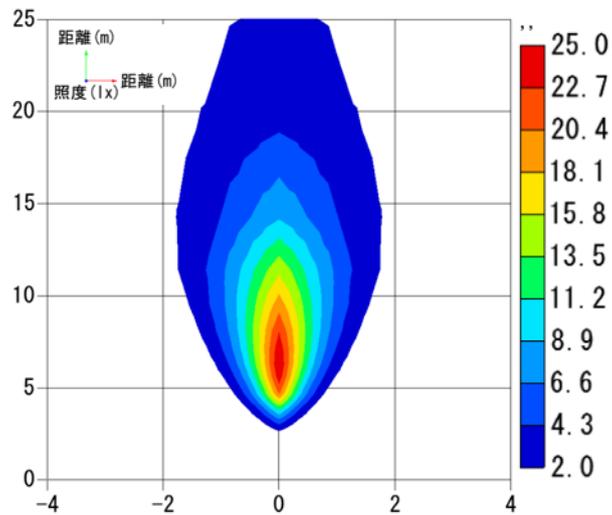


図 31 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 31 より、1 m の高さから光軸を下方向へ $5^{\circ}$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 25.0 lx となった。照度距離は約 22 m だった。

供試品 5 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 32 に示す。

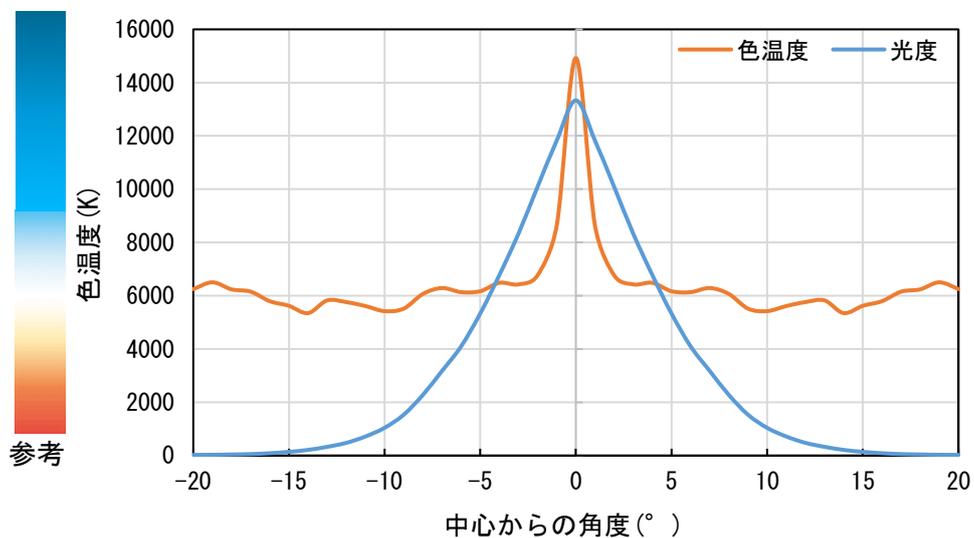


図 32 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 32 より、色温度の平均は 6,365 K（写真 13 参照）。また、色温度の最大は 14,924 K、最小は 5,348 K であり、差は 9,576 K であった。中心のみ 10,000 K 以上あり青色、その他は白色であった。

## 7.6 供試品 6 について

供試品 6 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 14 に示す。

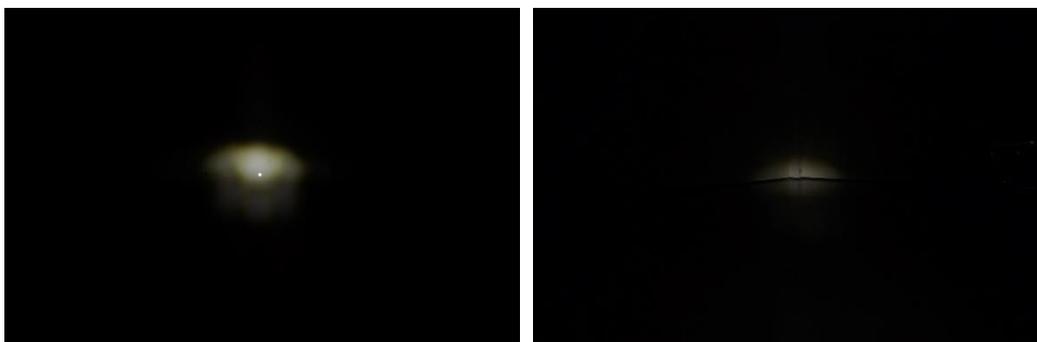


写真 14 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 14 より、鉛直面写真から供試品は横長形配光であった。

供試品 6 の中心からの角度と光度との関係を図 33 に示す。

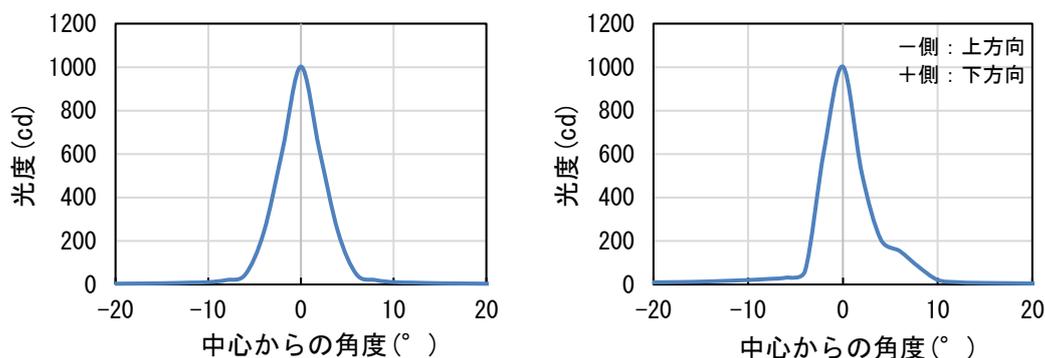


図 33 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 33 より、光度は最大で 1,003 cd、横方向と縦方向の照射角は  $5^{\circ}$  だった（広がりイメージは写真 14（右）を参照）。中心から上方向の照射角は  $5^{\circ}$  以下と狭いため対向者への眩惑は少なく、下方向の照射は数百 cd の光が  $10^{\circ}$  近傍まで続くため、足元は明るい。そのため乗員の使いやすさと対向者の眩惑の両方に考慮した設計であった。

供試品 6 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 34 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

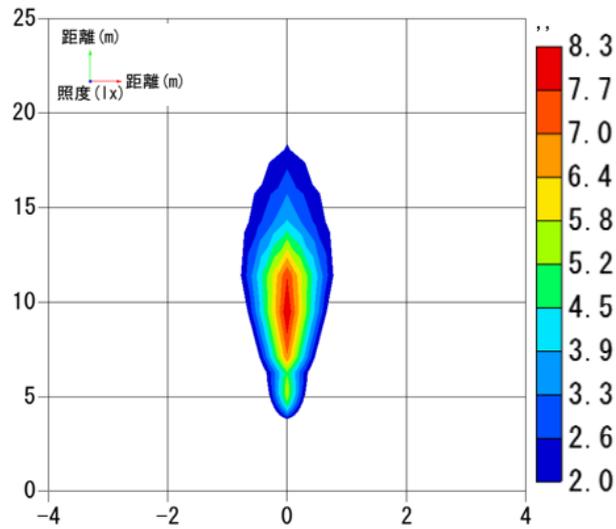


図 34 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 34 より、1 m の高さから光軸を下方向へ $5^{\circ}$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 8.3 lx となった。照度距離は約 16 m だった。

供試品 6 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 35 に示す。

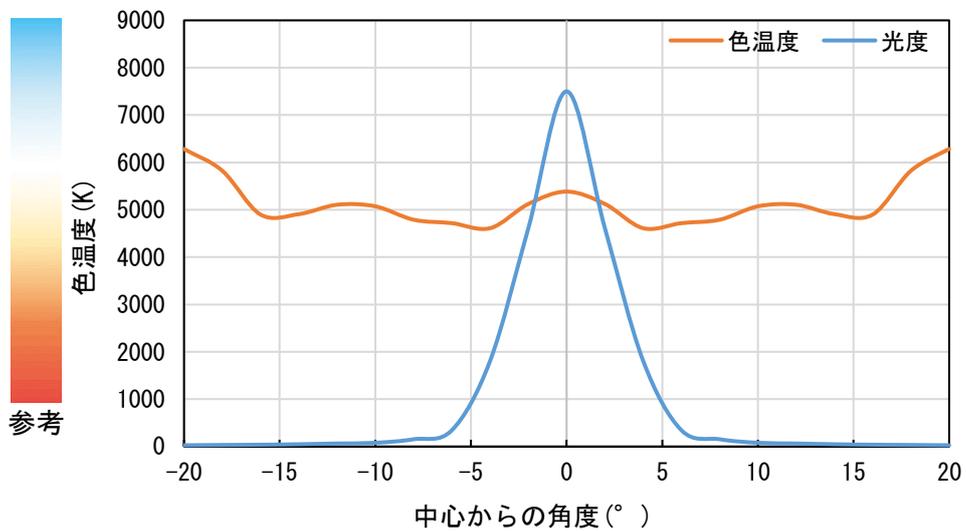


図 35 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 35 より、色温度の平均は 5,145 K（写真 14 参照）。また、色温度の最大は 6,283 K、最小は 4,611 K であり、差は 1,672 K であった。色むらは少なかった。

## 7.7 供試品 7 について

供試品 7 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 15 に示す。



写真 15 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 15 より、鉛直面写真から供試品は楕円配光であった。

供試品 7 の中心からの角度と光度との関係を図 36 に示す。

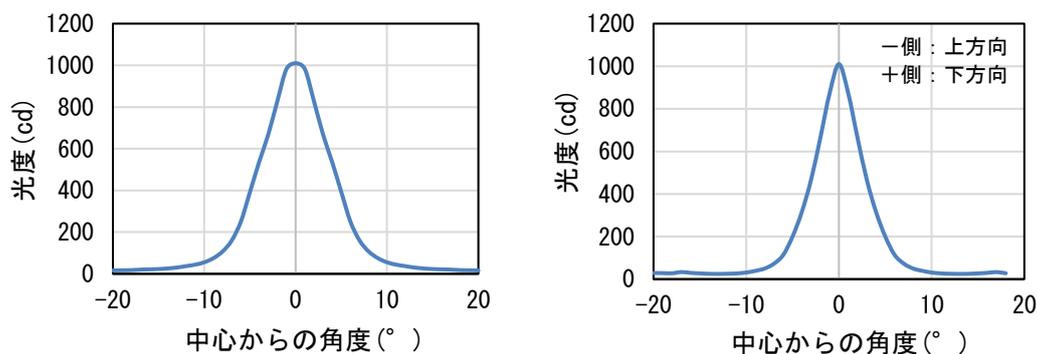


図 36 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 36 より、光度は最大で 1,010 cd、横方向の照射角は  $10^{\circ}$ 、縦方向の照射角は  $5^{\circ}$  だった（広がりイメージは写真 15（右）を参照）。中心から上方向の照射角は  $5^{\circ}$  以下と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 6 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 37 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

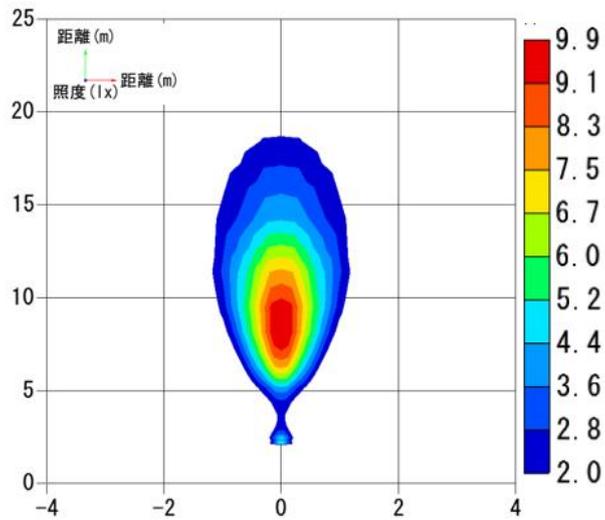


図 37 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 37 より、1 m の高さから光軸を下方へ  $5^\circ$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 9.9 lx となった。照度距離は約 16 m だった。

供試品 7 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 38 に示す。

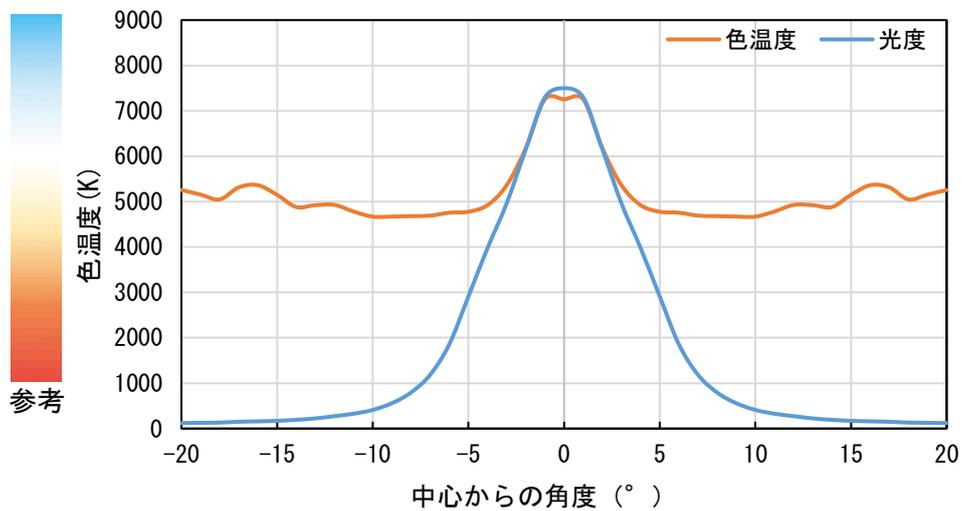


図 38 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 38 より、色温度の平均は 5,190 K（写真 15 参照）。また、色温度の最大は 7,256 K、最小は 4,669 K であり、差は 2,587 K であった。中心のみ 7,000 K 以上あり青白かった。

## 7.8 供試品 8 について

供試品 8 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 16 に示す。

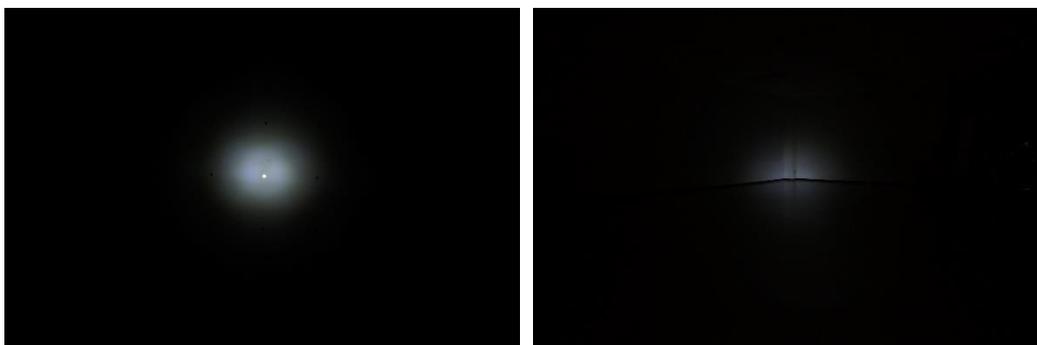


写真 16 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 16 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。

供試品 8 の中心からの角度と光度との関係を図 39 に示す。

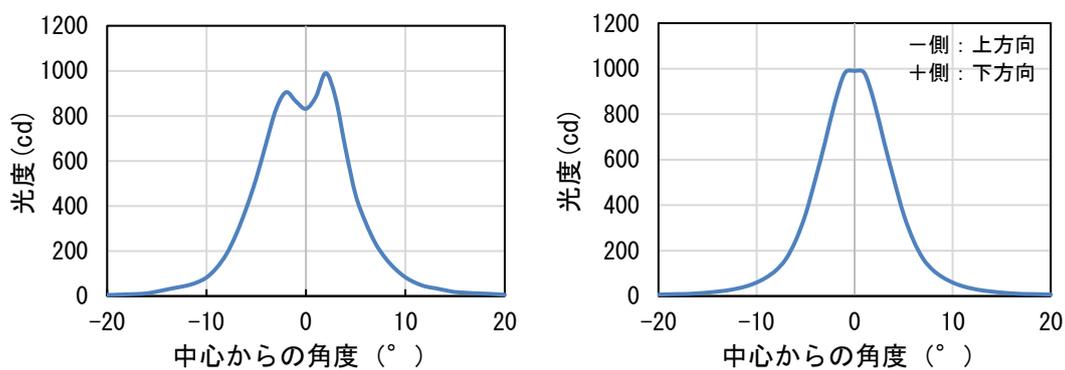


図 39 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 39 より、光度は最大で 990 cd、横方向と縦方向の照射角は  $10^\circ$  だった（広がりイメージは写真 16（右）を参照）。中心から上方向の照射角は  $5^\circ$  以下と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 8 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 40 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

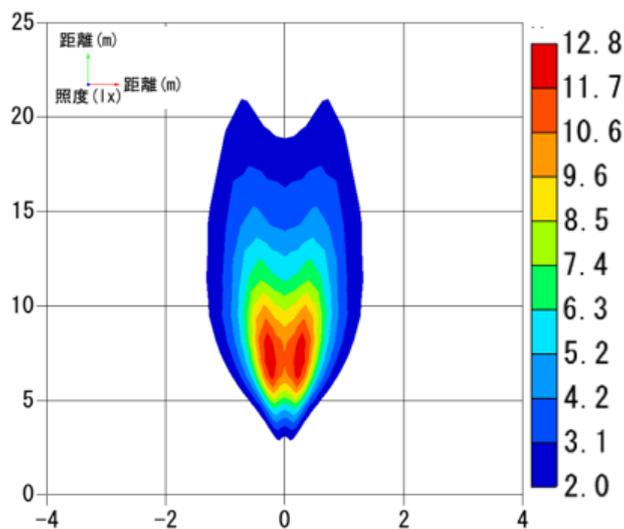


図 40 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 40 より、1 m の高さから光軸を下方へ  $5^\circ$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 12.8 lx となった。照度距離は約 16 m だった。

供試品 8 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 41 に示す。

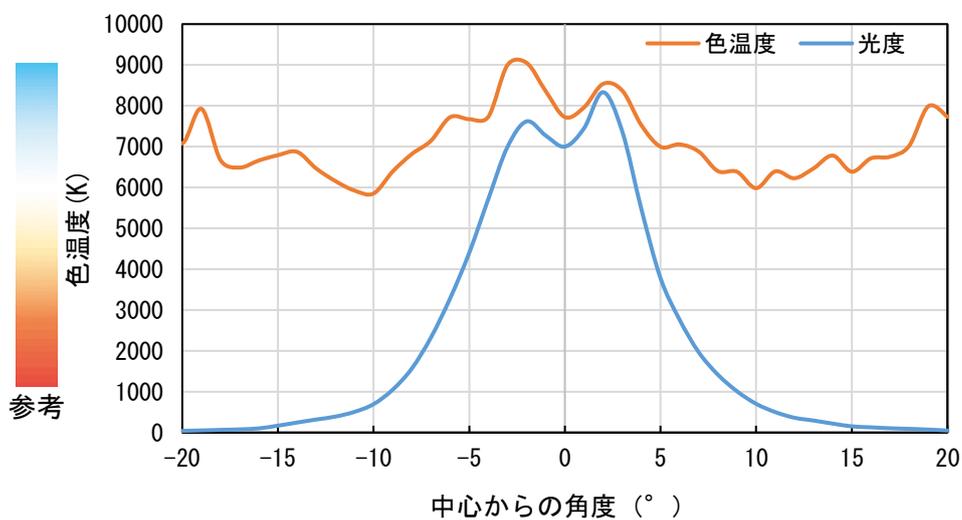


図 41 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 41 より、色温度の平均は 7,099 K（写真 16 参照）。また、色温度の最大は 9,052 K、最小は 5,853 K であり、差は 3,199 K であった。色むらは少なかった。

## 7.9 供試品 9 について

供試品 9 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 17 に示す。



写真 17 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 17 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。

供試品 9 の中心からの角度と光度との関係を図 42 に示す。

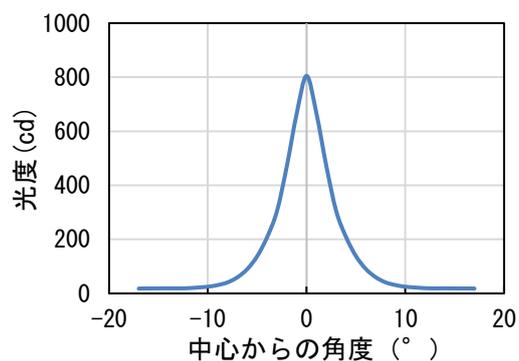


図 42 中心からの角度と光度との関係

図 42 より、光度は最大で 805 cd、横方向と縦方向の照射角は  $5^{\circ}$  だった（広がりイメージは写真 17（右）を参照）。中心から上方向の照射角は  $5^{\circ}$  以下と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 9 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 43 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

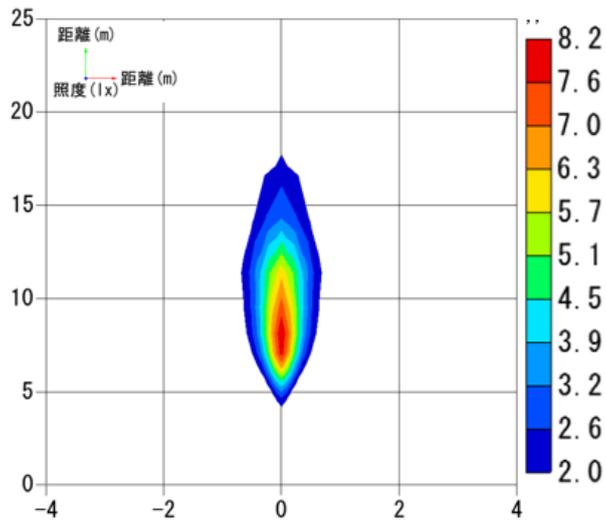


図 43 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 43 より、1 m の高さから光軸を下方向へ $5^{\circ}$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 8.2 lx となった。照度距離は約 15 m だった。

供試品 9 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 44 に示す。

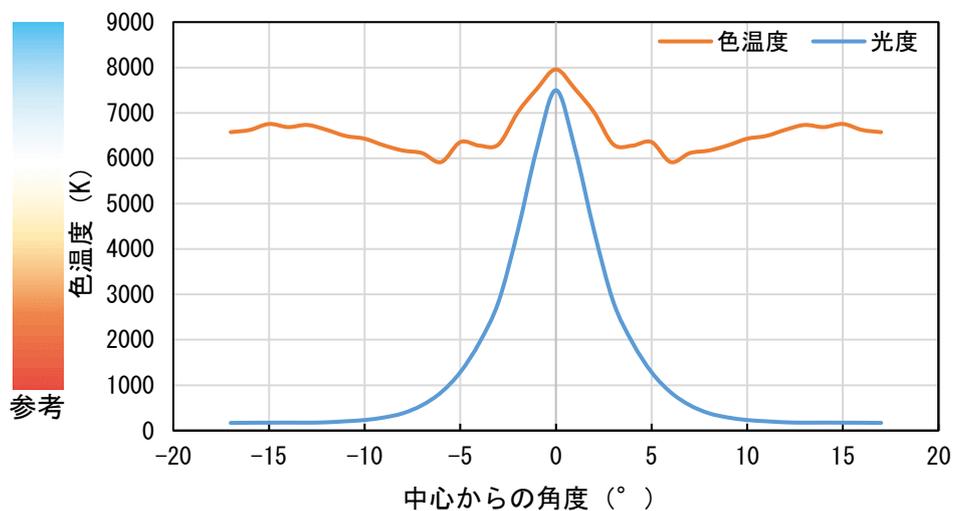


図 44 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 44 より、色温度の平均は 6,564 K（写真 17 参照）。また、色温度の最大は 7,958 K、最小は 5,916 K であり、差は 2,042 K であった。色むらは少なかった。

## 7.10 供試品 10 について

供試品 10 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 18 に示す。

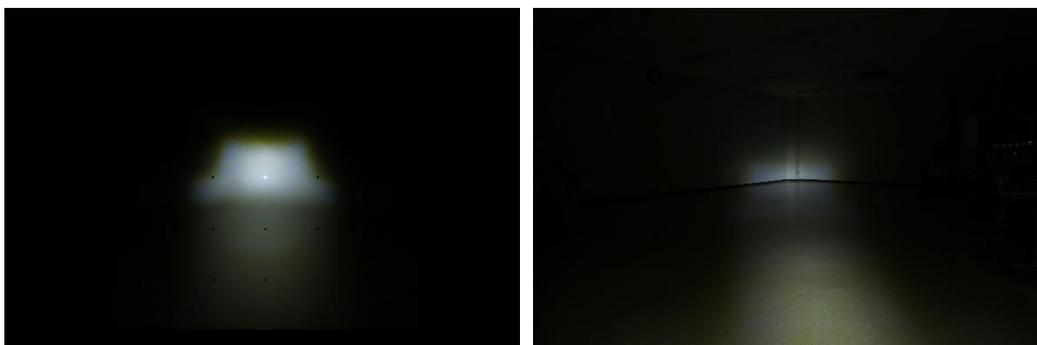


写真 18 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 18 より、鉛直面写真から供試品は横長形の配光であり、水平面へ照射した光は手前と奥で光の広がり異なることがわかった。

供試品 10 の中心からの角度と光度との関係を図 45 に示す。

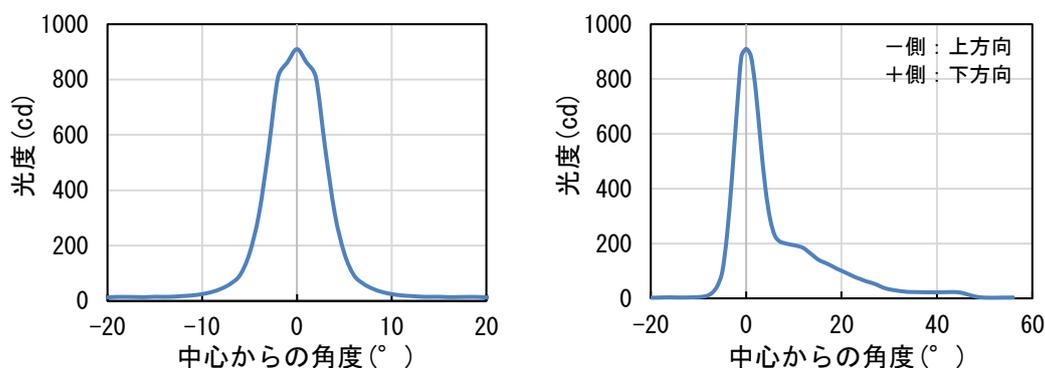


図 45 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 45 より、光度は最大で 910 cd、横方向と縦方向の照射角は 5° だった（広がりイメージは写真 18（右）を参照）。中心から上方向の照射角は 5° 以下と狭いため対向者への眩惑は少なく、下方向の照射は数十 cd の光が 40° 近傍まで続いたため、足元は明るい。そのため乗員の使いやすさと対向者の眩惑の両方に考慮した設計であった。

供試品 10 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 46 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

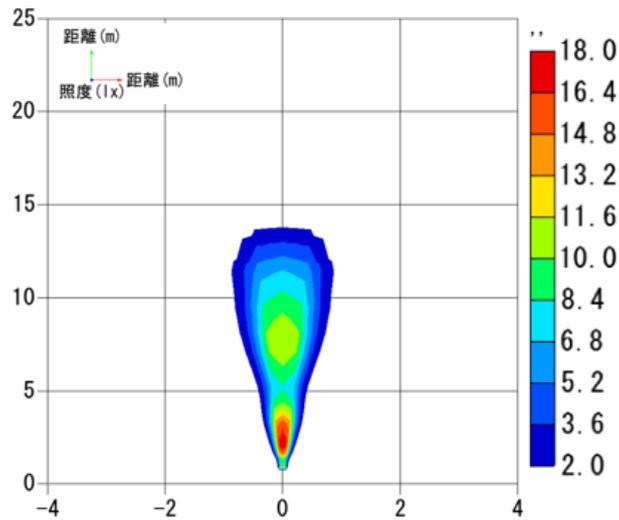


図 46 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 46 より、1 m の高さから光軸を下方向へ $5^{\circ}$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 18.0 lx となった。照度距離は約 13 m だった。

供試品 10 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 47 に示す。

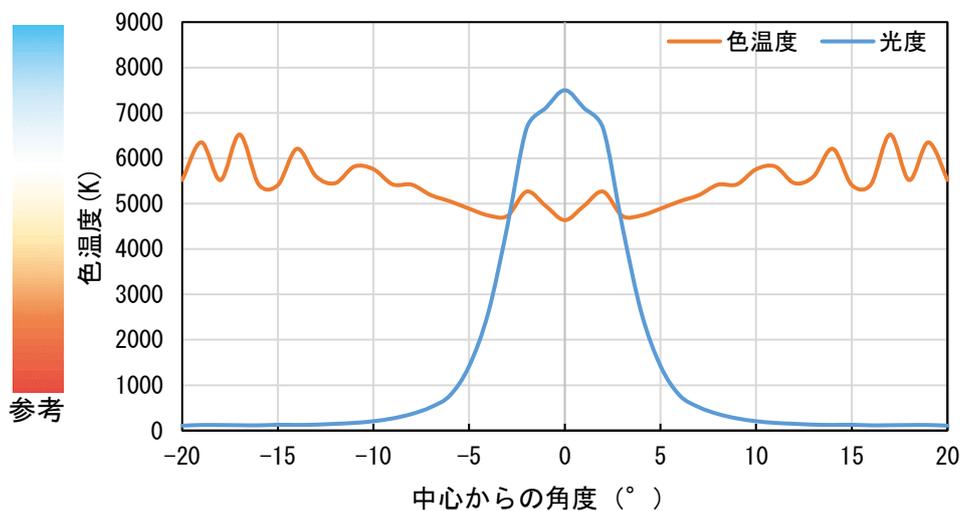


図 47 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 47 より、色温度の平均は 5,442 K（写真 18 参照）。また、色温度の最大は 6,522 K、最小は 4,636 K であり、差は 1,886 K であった。色むらは少なかった。

## 7.11 供試品 11 について

供試品 11 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 19 に示す。

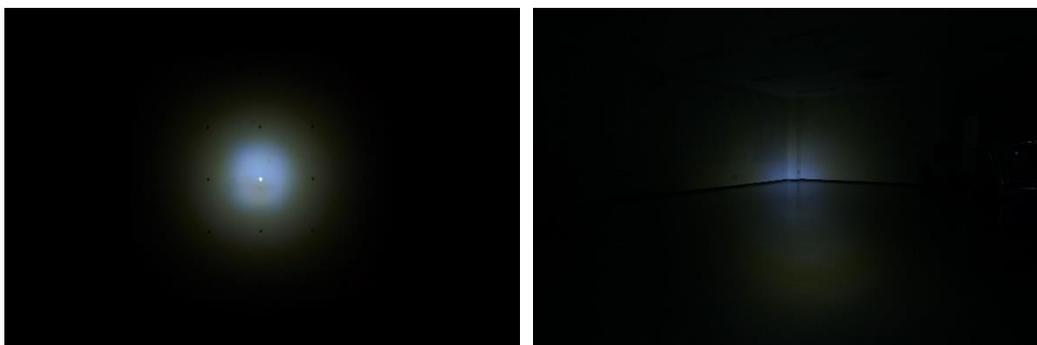


写真 19 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 19 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。また、色むらが大きく、中心が青色で光が広がるにつれて黄白色となった。

供試品 11 の中心からの角度と光度との関係を図 48 に示す。

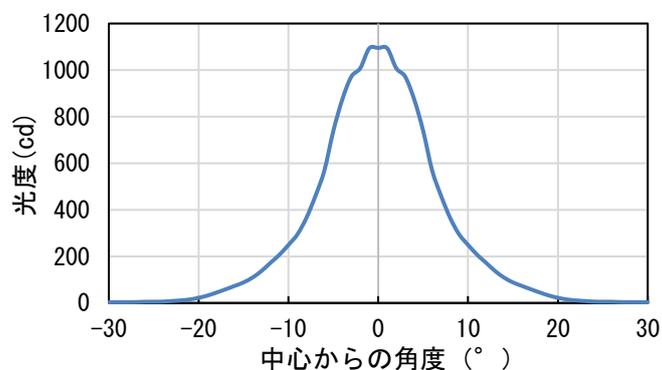


図 48 中心からの角度と光度との関係

図 48 より、光度は最大で 1,095 cd、横方向と縦方向との照射角は  $10^{\circ}$  だった（広がりイメージは写真 19（右）を参照）。中心から上方向の照射角も  $5^{\circ}$  以下と狭いため、対向者への眩惑は少ない。

供試品 11 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 49 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

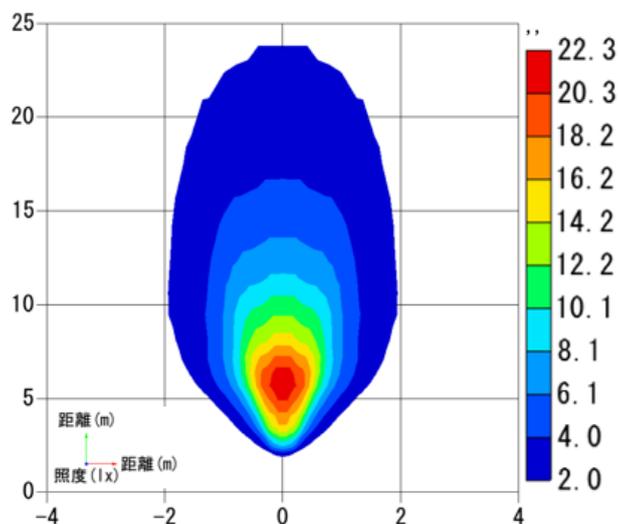


図 49 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 49 より、1 m の高さから光軸を下方へ $5^{\circ}$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 22.3 lx となった。照度距離は約 18 m だった。

供試品 11 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 50 に示す。

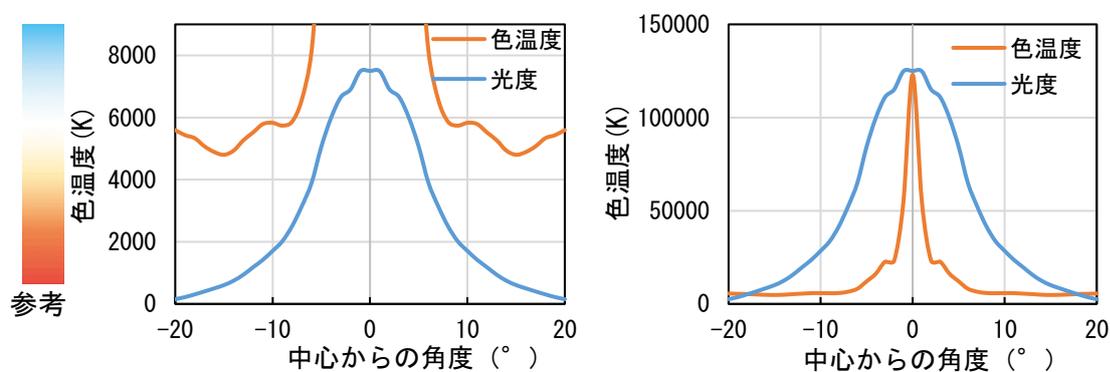


図 50 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

左右の図は色温度表示範囲の違い

図 50 より、色温度の平均は 13,441 K（写真 19 参照）。また、色温度の最大は 123,015 K、最小は 4,802 K であり、差は 118,213 K であった。 $\pm 5^{\circ}$  の範囲では青色であり、色度においても JIS C 9502:2021 6.4 に規定された色度座標の範囲外の供試品である。夜間の走行時に使用する際は、前方が見えにくい可能性があるため注意が必要である。

## 7.12 供試品 12 について

供試品 12 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 20 に示す。

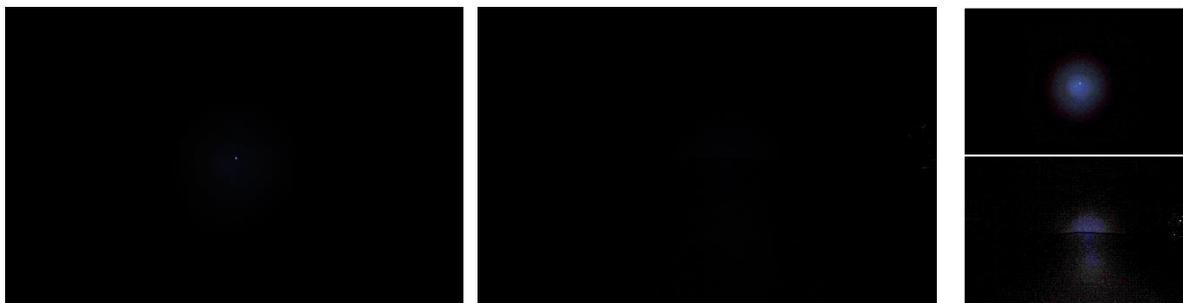


写真 20 鉛直面（左）、水平面（中）及び各露出の編集（右）

写真 20 より、光量が 10 lm と非常に小さく照射角も広いため、本研究のカメラ条件では形状を捉えることができなかったため、撮影後露出を編集し参考イメージとした。鉛直面から供試品は楕円配光であった。

供試品 12 の中心からの角度と光度との関係を図 51 に示す。

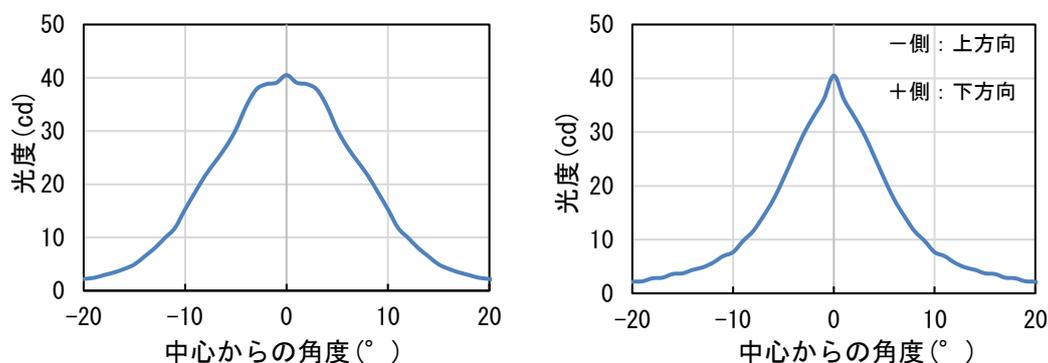


図 51 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 51 より、光度は最大で 41 cd、横方向の照射角は 15°、縦方向の照射角は 10° だった（広がりイメージは写真 20（右）を参照）。中心から上方向の照射角は 5° 以下と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 12 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 52 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

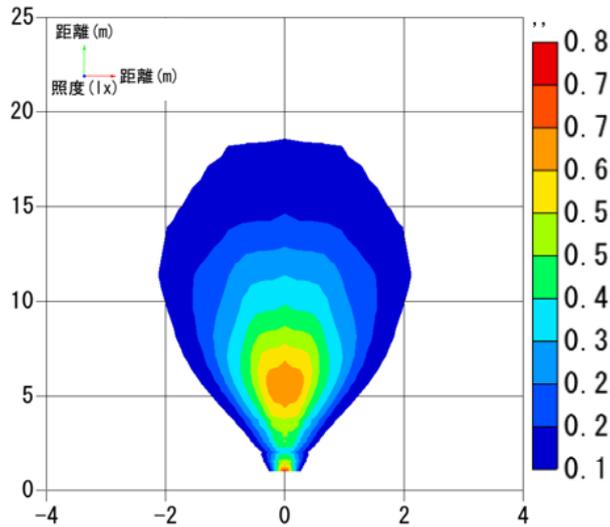


図 52 水平面に照射した時の距離と照度との関係（照度範囲全て 2lx 以下）

図 52 より、1 m の高さから光軸を下方へ  $5^\circ$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 0.8 lx となった。照度距離は約 0 m だった。0.25 lx で満月の光と同等<sup>3)</sup>（晴夜及び露地の場合）のため、0.8 lx では夜間の走行に支障をきたす恐れがある。

供試品 12 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 53 に示す。

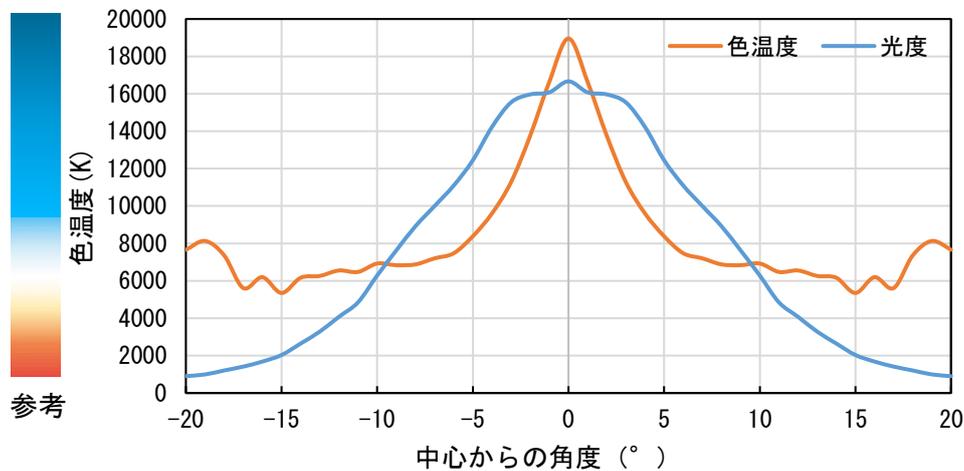


図 53 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 53 より、色温度の平均は 8,304 K（写真 20 参照）。また、色温度の最大は 18,960 K、最小は 5,350 K であり、差は 13,610 K であった。中心部は 10,000 K 以上あり全体的に青いため、夜間の雨や霧での走行時には散乱の影響で前方が見えにくくなる可能性がある。

### 7.13 供試品 13 について

供試品 13 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 21 に示す。

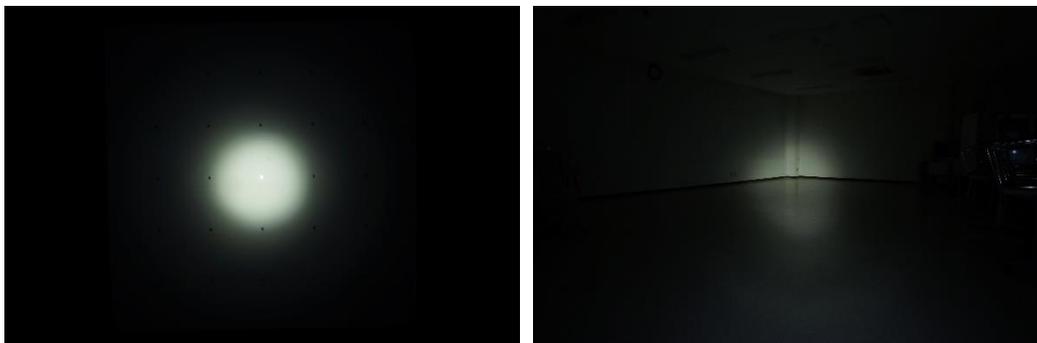


写真 21 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 21 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。  
供試品 13 の中心からの角度と光度との関係を図 54 に示す。

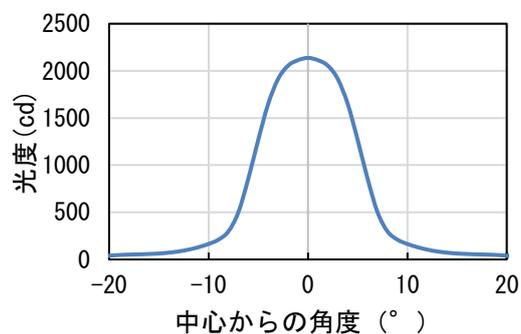


図 54 中心からの角度と光度との関係

図 54 より、光度は最大で 2,138 cd、横方向と縦方向の照射角は  $10^{\circ}$  だった（広がりイメージは写真 21（右）を参照）。中心から上方の照射角は  $5^{\circ}$  以下と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 13 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 55 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

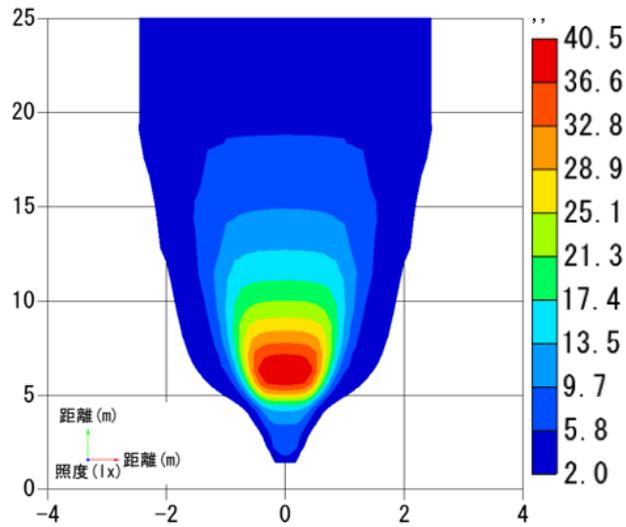


図 55 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 55 より、1 m の高さから光軸を下方向へ $5^{\circ}$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 40.5 lx となった。照度距離は約 25 m だった。

供試品 13 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 56 に示す。

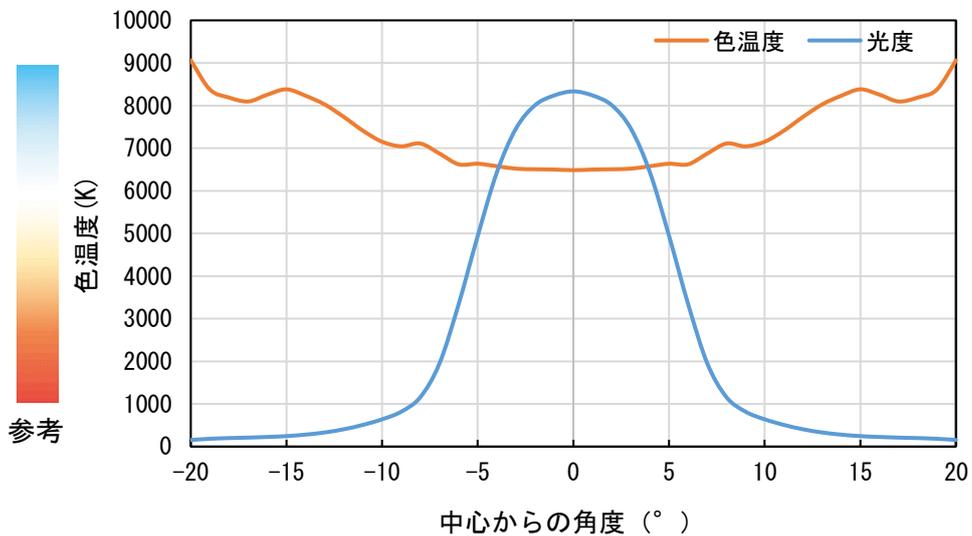


図 56 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 56 より、色温度の平均は 7,442 K（写真 21 参照）。また、色温度の最大は 9,061 K、最小は 6,485 K であり、差は 2,576 K であった。色むらは少なかった。

## 7.14 供試品 14 について

供試品 14 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 22 に示す。

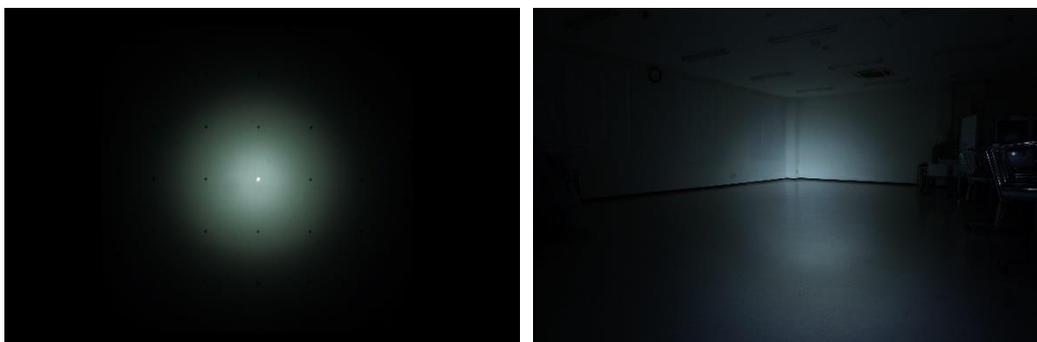


写真 22 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 22 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であり、水平面へ照射した光は手前と奥で光の広がり異なることがわかった。

供試品 14 の中心からの角度と光度との関係を図 57 に示す。

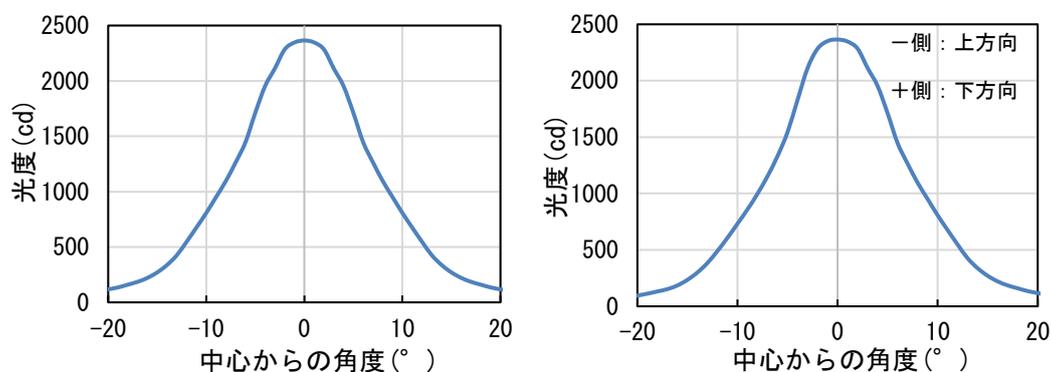


図 57 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 57 より、光度は最大で 2,365 cd、横方向と縦方向の照射角は  $15^\circ$  だった（広がりイメージは写真 22（右）を参照）。中心から上方向の照射角は約  $5^\circ$  と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 14 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 58 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

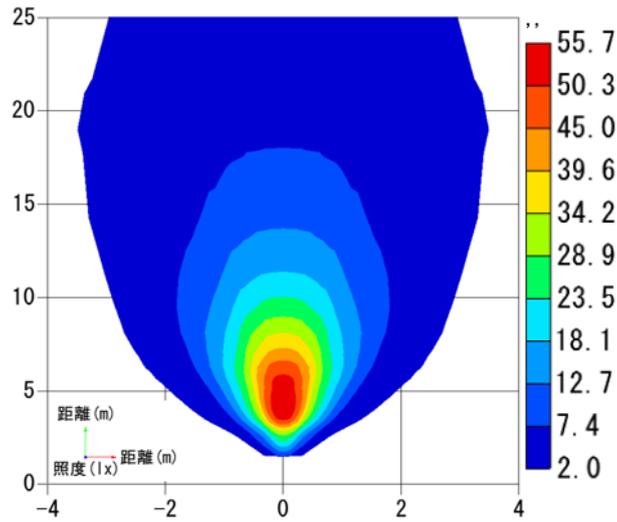


図 58 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 58 より、1 m の高さから光軸を下方向へ $5^{\circ}$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 55.7 lx となった。照度距離は約 27 m だった。

供試品 14 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 59 に示す。

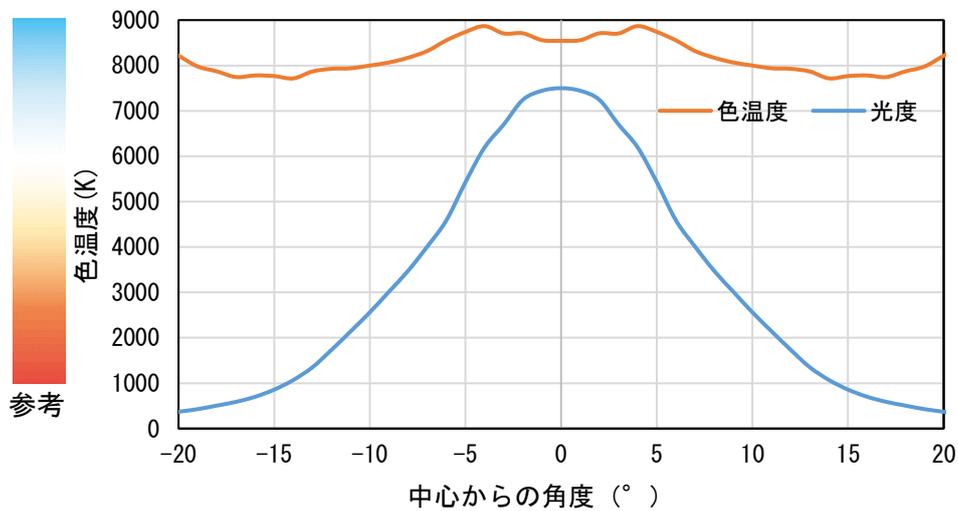


図 59 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 59 より、色温度の平均は 8,184 K（写真 22 参照）。また、色温度の最大は 8,868 K、最小は 7,716 K であり、差は 1,152 K であった。色むらは少なかった。

## 7.15 供試品 15 について

供試品 15 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 23 に示す。

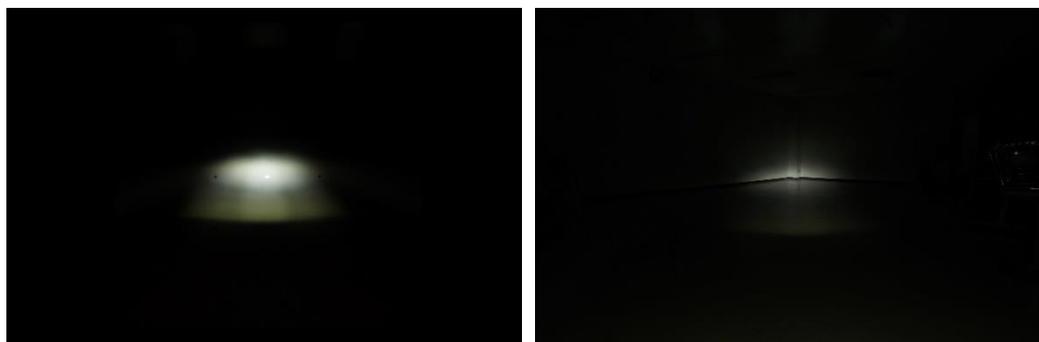


写真 23 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 23 より、鉛直面写真から供試品は横長形の配光であり、水平面へ照射した光は手前と奥で光の広がり異なることがわかった。

供試品 15 の中心からの角度と光度との関係を図 60 に示す。

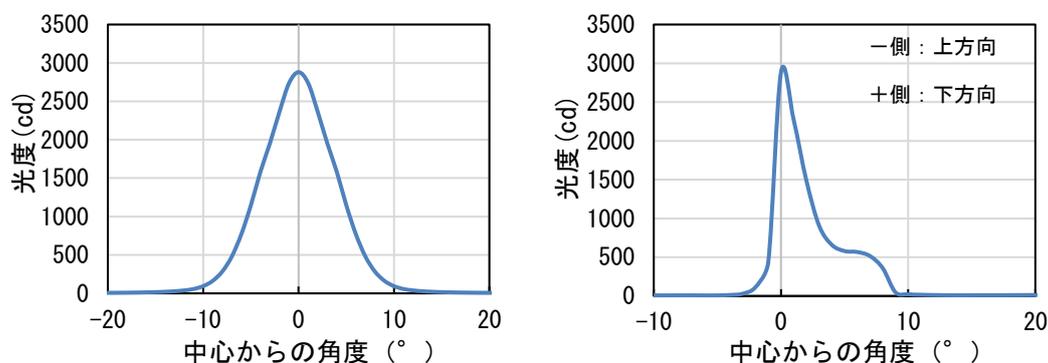


図 60 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 60 より、光度は最大で 2,880 cd、横方向の照射角は  $10^\circ$ 、縦方向の照射角は  $5^\circ$  だった（広がりイメージは写真 23（右）を参照）。中心から上方向の照射角は  $5^\circ$  以下と狭いため対向者への眩惑は少なく、下方向の照射は数十 cd の光が  $10^\circ$  近傍まで続いたため、足元は明るい。そのため乗員の使いやすさと対向者の眩惑の両方に考慮した設計であった。

供試品 15 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 61 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

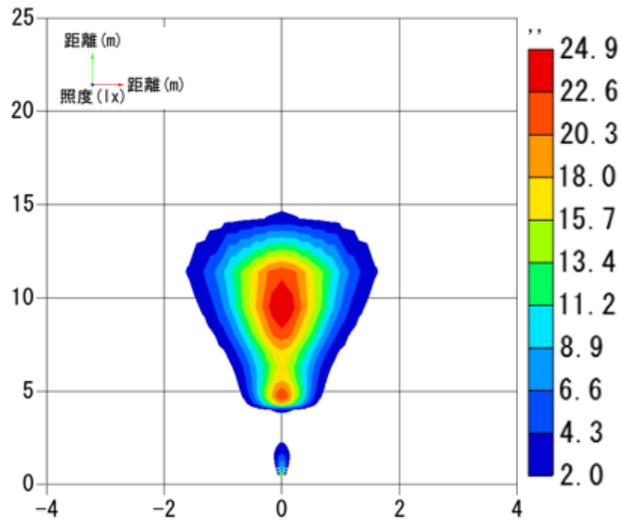


図 61 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 61 より、1 m の高さから光軸を下方向へ $5^{\circ}$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 24.9 lx となった。照度距離は約 14 m だった。

供試品 15 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 62 に示す。

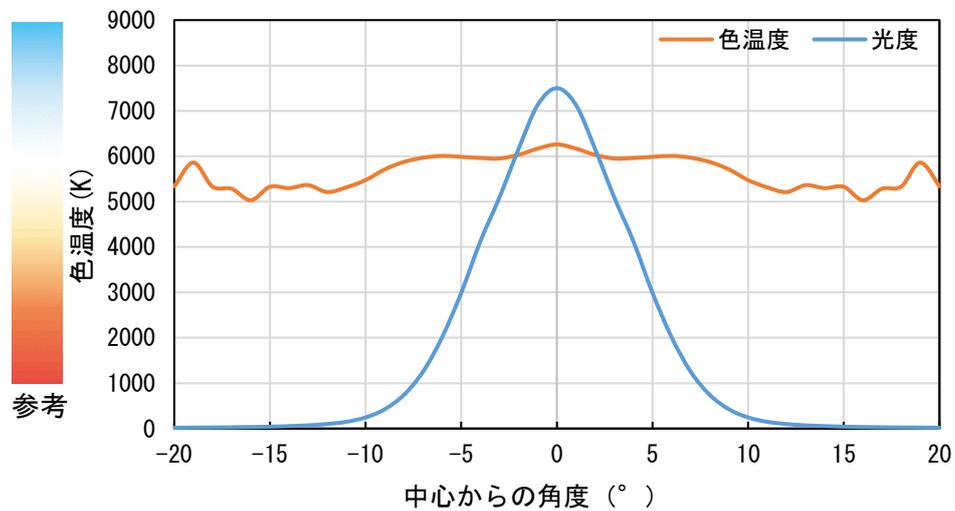


図 62 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 62 より、色温度の平均は 5,640 K（写真 23 参照）。また、色温度の最大は 6,260 K、最小は 5,030 K であり、差は 1,230 K であった。色むらは少なかった。

## 7.16 供試品 16 について

供試品 16 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 24 に示す。

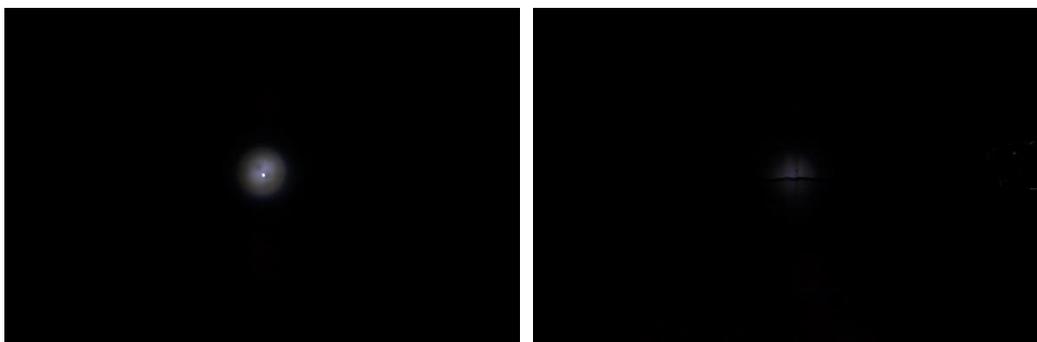


写真 24 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 24 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。

供試品 16 の中心からの角度と光度との関係を図 63 に示す。

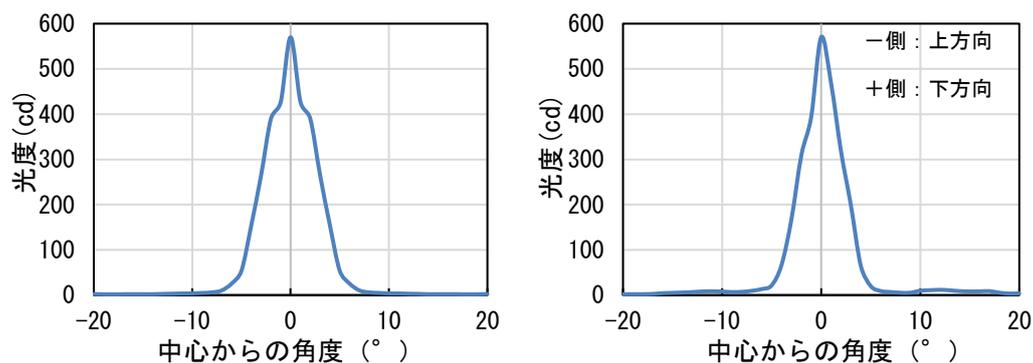


図 63 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 63 より、光度は最大で 570 cd、横方向と縦方向の照射角は  $5^{\circ}$  だった（広がりイメージは写真 24（右）を参照）。中心から上方向の照射角は  $5^{\circ}$  以下と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 16 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 64 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

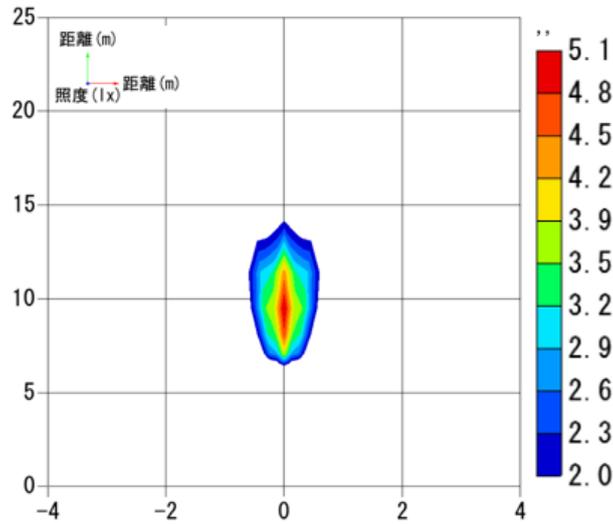


図 64 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 64 より、1 m の高さから光軸を下方へ  $5^\circ$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 5.1 lx となった。照度距離は約 13 m だった。

供試品 16 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 65 に示す。

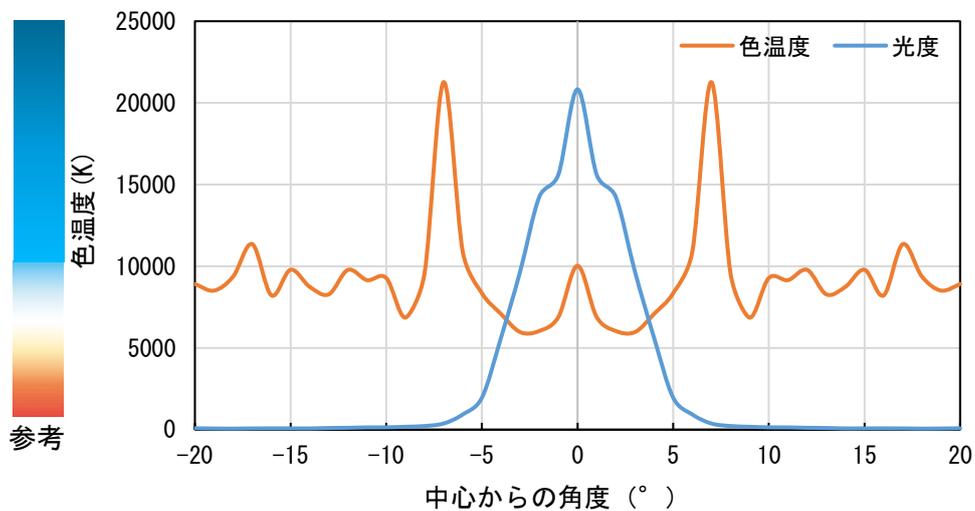


図 65 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 65 より、色温度の平均は 9,236 K（写真 24 参照）。また、色温度の最大は 21,273 K、最小は 5,972 K であり、差は 15,301 K であった。光度が大きい中心部は約 10,000 K で青白いため、夜間の雨や霧での走行時には散乱の影響で前方が見えにくくなる可能性がある。

## 7.17 供試品 17 について

供試品 17 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 25 に示す。

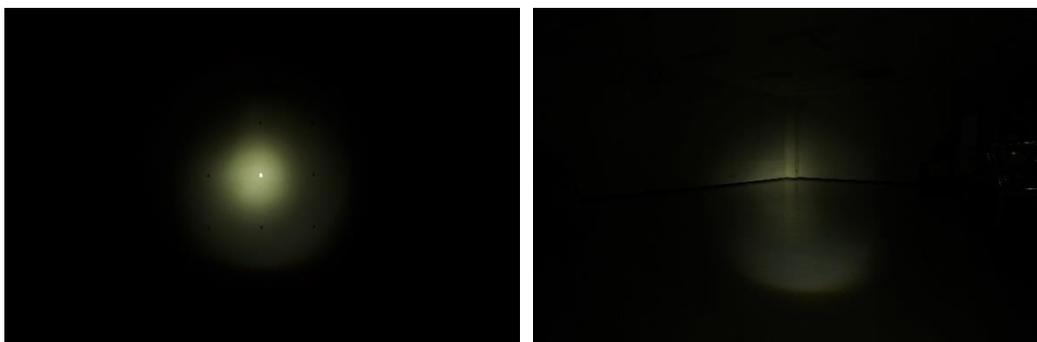


写真 25 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 25 より、鉛直面写真から供試品は特殊な配光であり、水平面へ照射した光は手前と奥で光の広がり異なることがわかった。

供試品 17 の中心からの角度と光度との関係を図 66 に示す。

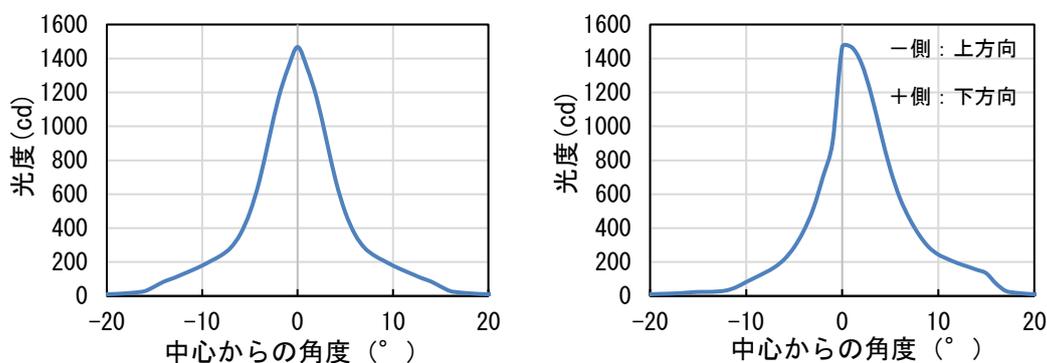


図 66 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 66 より、光度は最大で 1,468 cd、横方向の照射角は  $10^\circ$ 、縦方向の照射角は  $5^\circ$  だった（広がりイメージは写真 25（右）を参照）。中心から上方向の照射角は  $5^\circ$  以下と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 17 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 67 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

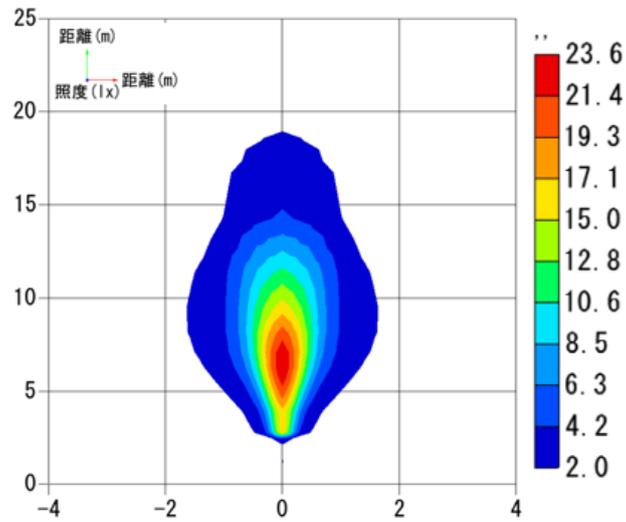


図 67 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 67 より、1 m の高さから光軸を下方向へ $5^{\circ}$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 23.6 lx となった。照度距離は約 16 m だった。

供試品 17 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 68 に示す。

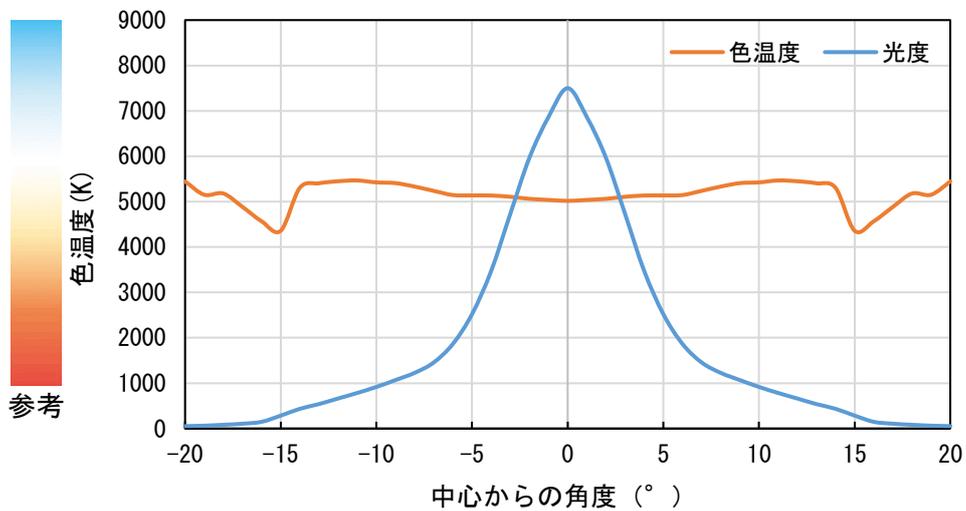


図 68 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 68 より、色温度の平均は 5,158 K（写真 25 参照）。また、色温度の最大は 5,467 K、最小は 4,358 K であり、差は 1,109 K であった。色むらは小さく、色温度も低いため、夜間に雨や霧の中を走行しても前方がよく見え、安全性に優れた設計である。

## 7.18 供試品 18 について

供試品 18 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 26 に示す。



写真 26 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 26 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。

供試品 18 の中心からの角度と光度との関係を図 69 に示す。

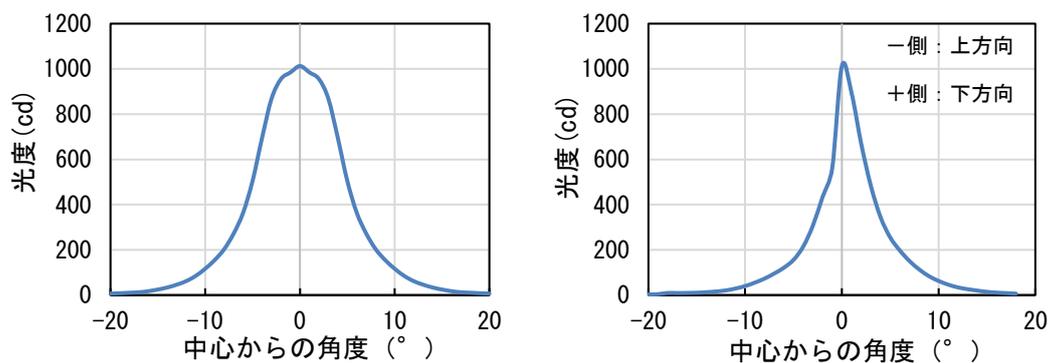


図 69 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 69 より、光度は最大で 1,013 cd、横方向の照射角は  $10^{\circ}$ 、縦方向の照射角は  $5^{\circ}$  だった（広がりイメージは写真 26（右）を参照）。中心から上方向の照射角は  $5^{\circ}$  以下と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 18 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 69 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

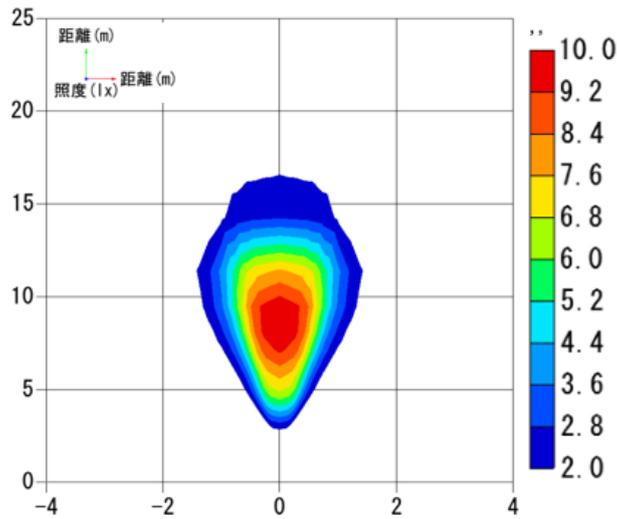


図 69 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 69 より、1 m の高さから光軸を下方向へ $5^{\circ}$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 10.0 lx となった。照度距離は約 14 m だった。

供試品 18 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 70 に示す。

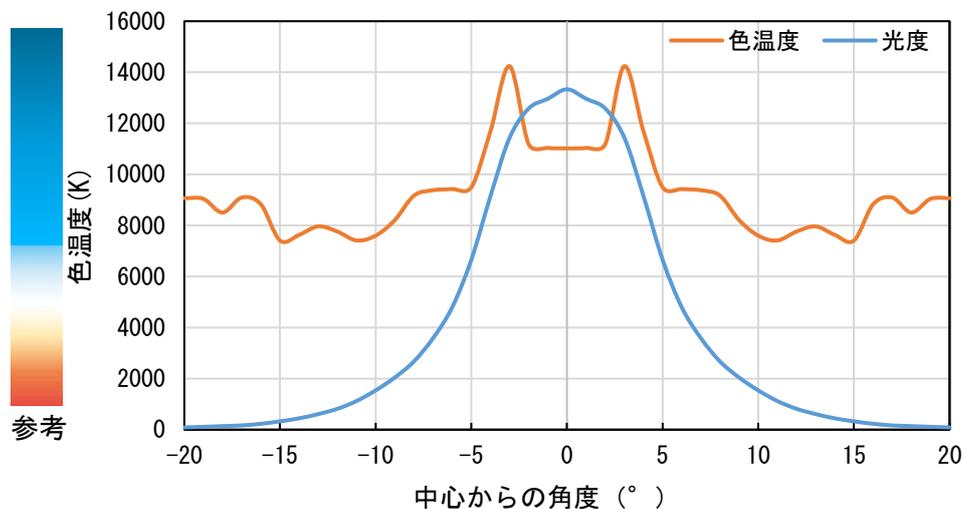


図 70 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 70 より、色温度の平均は 9,250 K（写真 26 参照）。また、色温度の最大は 14,241 K、最小は 7,408 K であり、差は 6,833 K であった。光度が大きい中心部近傍は 14,000 K 以上あり全体的に青白いため、夜間の雨や霧での走行時には散乱の影響で前方が見えにくくなる可能性がある。

## 7.19 供試品 19 について

供試品 19 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 27 に示す。



写真 27 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 27 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。

供試品 19 の中心からの角度と光度との関係を図 71 に示す。

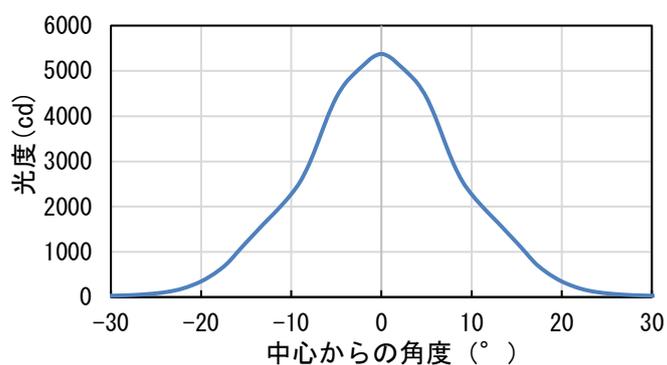


図 71 中心からの角度と光度との関係

図 71 より、光度は最大で 5,375 cd、横方向と縦方向の照射角は  $15^{\circ}$  であり、他の供試品に比べ光の広がり大きい（広がりイメージは写真 27（右）を参照）。中心から上方向の照射角も約  $10^{\circ}$  となり大きいため、対向者への眩感に注意が必要である。

供試品 19 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 72 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

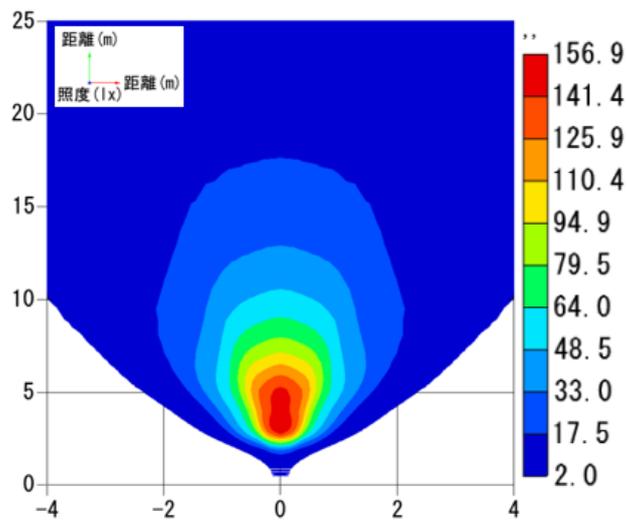


図 72 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 72 より、1 m の高さから光軸を下方向へ $5^{\circ}$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 156.9 lx となった。照度距離は約 40 m だった。

供試品 19 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 73 に示す。

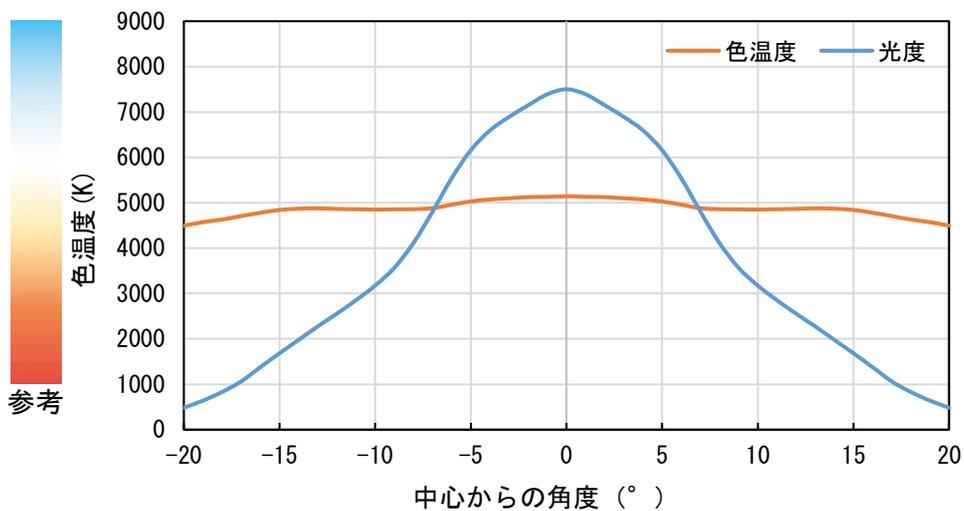


図 73 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 73 より、色温度の平均は 4,874 K（写真 27 参照）。また、色温度の最大は 5,143 K、最小は 4,495 K であり、差は 648 K であった。色むらは非常に小さく、色温度も低いため、夜間に雨や霧の中を走行しても前方がよく見え、安全性に優れた設計である。

## 7.20 供試品 20 について

供試品 20 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 28 に示す。



写真 28 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 28 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。

供試品 20 の中心からの角度と光度との関係を図 74 に示す。

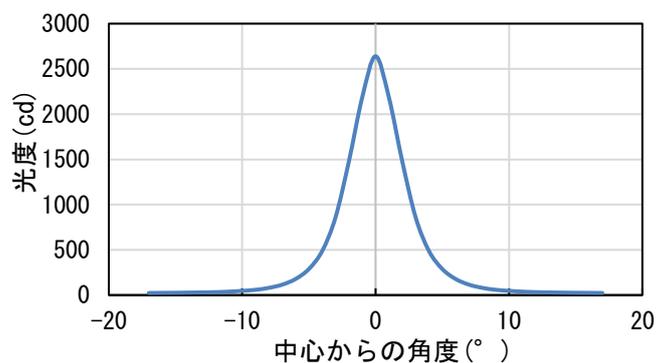


図 74 中心からの角度と光度との関係

図 74 より、光度は最大で 2,640 cd、横方向と縦方向の照射角は  $5^{\circ}$  だった（広がりイメージは写真 28（右）を参照）。中心から上方向の照射角は  $5^{\circ}$  以下と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 20 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 75 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

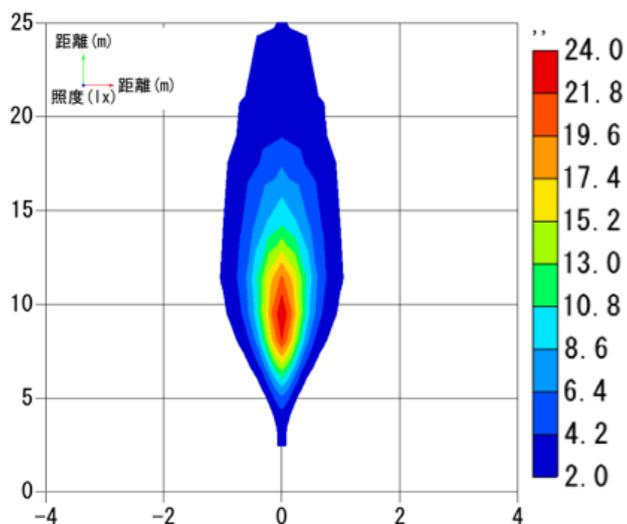


図 75 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 75 より、1 m の高さから光軸を下方向へ $5^{\circ}$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 24.0 lx となった。照度距離は約 21 m だった。

供試品 20 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 76 に示す。

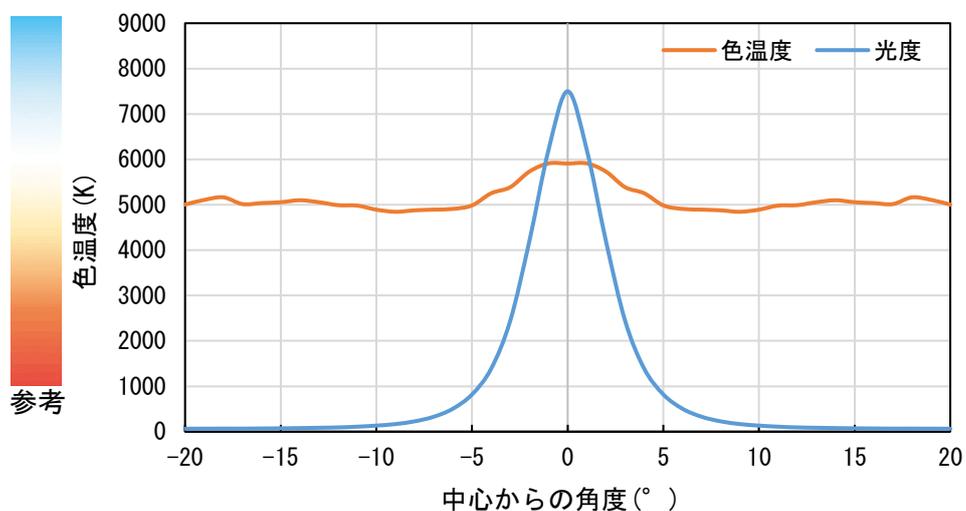


図 76 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 76 より、色温度の平均は 5,129 K（写真 28 参照）。また、色温度の最大は 5,911 K、最小は 4,845 K であり、差は 1,066 K であった。色むらは小さく、色温度も低いため、夜間に雨や霧の中を走行しても前方がよく見え安全性に優れた設計である。

## 7.21 供試品 21 について

供試品 21 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 29 に示す。

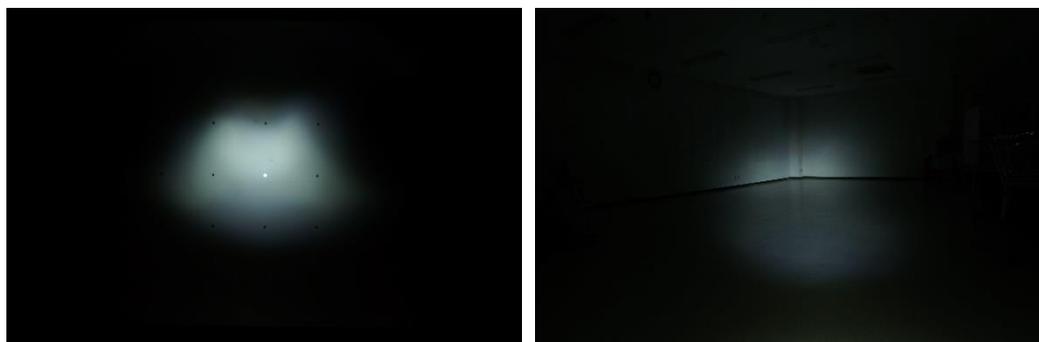


写真 29 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 29 より、鉛直面写真から供試品は横長形の配光であり、水平面へ照射した光は手前と奥で光の広がり異なることがわかった。

供試品 21 の中心からの角度と光度との関係を図 77 に示す。

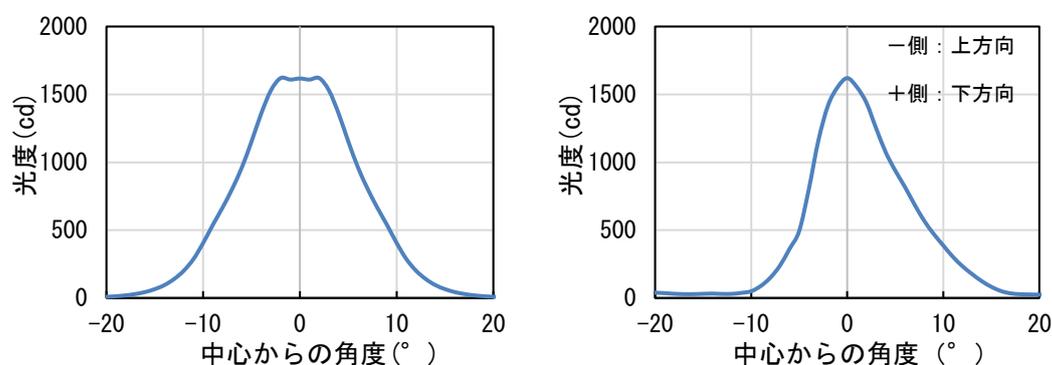


図 77 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 77 より、光度は最大で 1,620 cd、照射角は横方向 15°、縦方向 10° だった（広がりイメージは写真 29（右）を参照）。中心から上方向の照射角は 5° 以下と狭いため対向者への眩惑は少なく、下方向の照射は数十 cd の光が 15° 近傍まで続くため、足元は明るい。そのため乗員の使いやすさと対向者の眩惑の両方に考慮した設計であった。

供試品 24 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 78 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

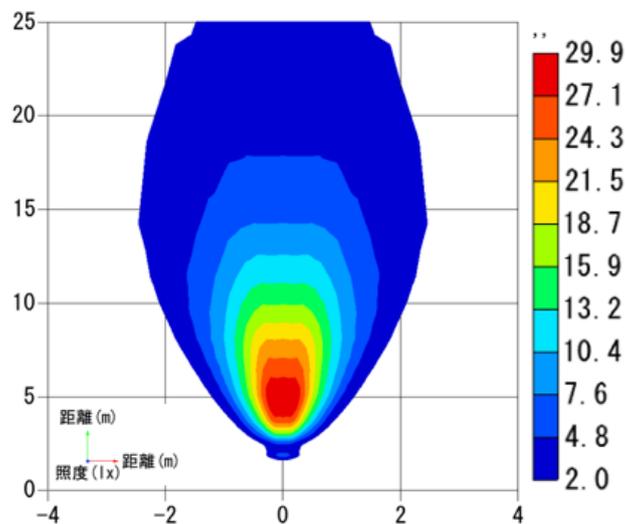


図 78 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 78 より、1 m の高さから光軸を下方向へ $5^{\circ}$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 29.9 lx となった。照度距離は約 21 m だった。

供試品 21 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 79 に示す。

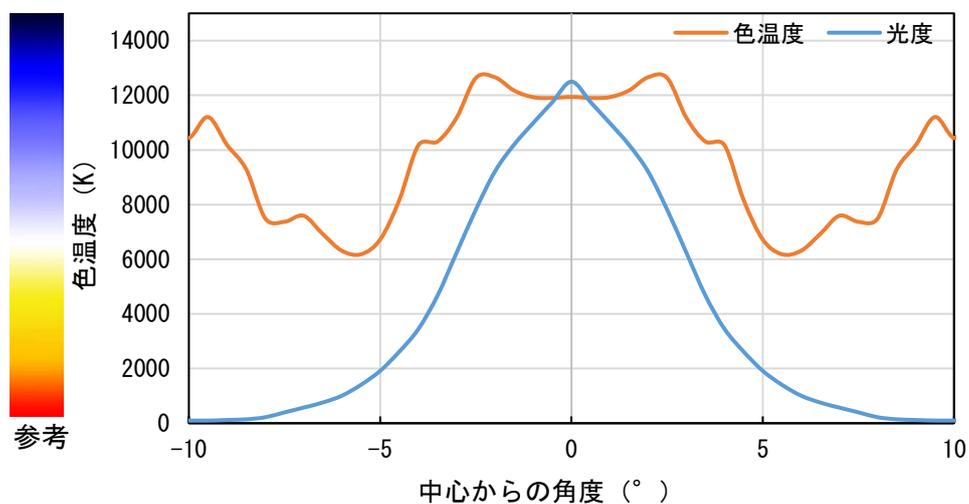


図 79 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 79 より、色温度の平均は 9,600 K（写真 29 参照）。また、色温度の最大は 12,660 K、最小は 6,184 K であり、差は 6,476 K であった。光度が大きい中心部近傍は 12,000 K 以上あり全体的に青白いため、夜間の雨や霧での走行時には散乱の影響で前方が見えにくくなる可能性がある。

## 7.22 供試品 22 について

供試品 22 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 30 に示す。

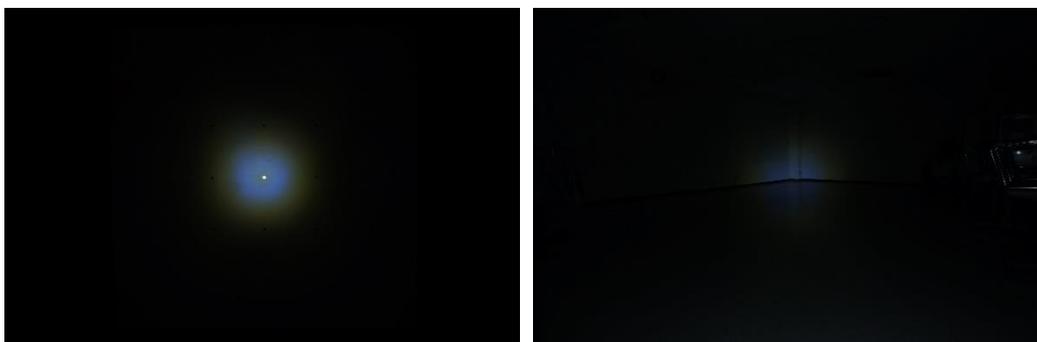


写真 30 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 30 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。

供試品 22 の中心からの角度と光度との関係を図 80 に示す。

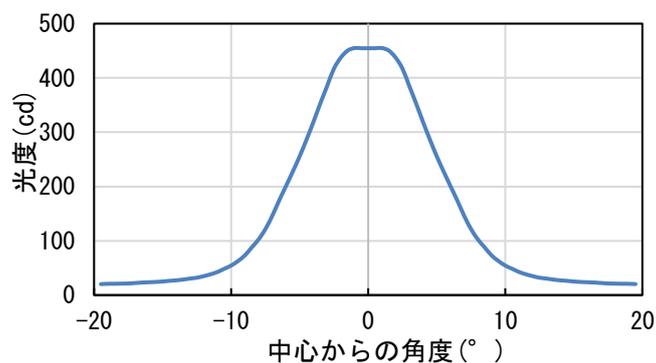


図 80 中心からの角度と光度との関係

図 80 より、光度は最大で 455 cd、横方向と縦方向の照射角は  $10^\circ$  だった（広がりイメージは写真 30（右）を参照）。中心から上方方向の照射角は約  $5^\circ$  と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 22 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 81 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

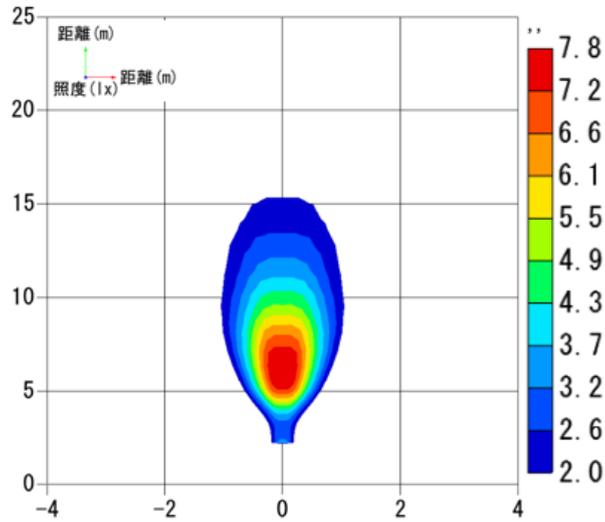


図 81 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 81 より、1 m の高さから光軸を下方へ  $5^\circ$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 7.8 lx となった。照度距離は約 12 m だった。

供試品 22 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 82 に示す。

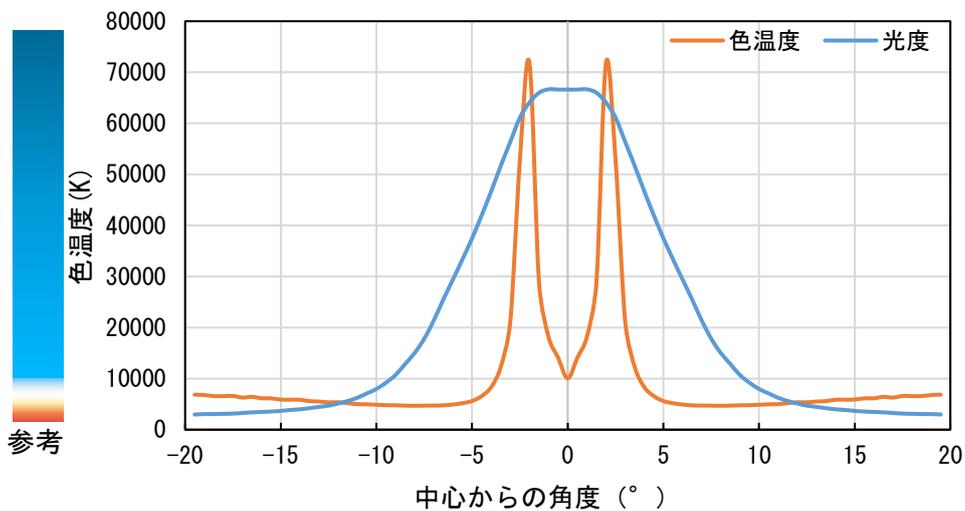


図 82 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 82 より、色温度の平均は 10,274 K（写真 30 参照）。また、色温度の最大は 71,836 K、最小は 4,679 K であり、差は 67,157 K であった。光度が大きい中心部近傍は 70,000 K 以上あり全体的に青いため、夜間の雨や霧での走行時には散乱の影響で前方が見えにくくなる可能性がある。

### 7.23 供試品 23 について

供試品 23 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 31 に示す。



写真 31 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 31 より、鉛直面写真から供試品は楕円配光であった。

供試品 23 の中心からの角度と光度との関係を図 83 に示す。

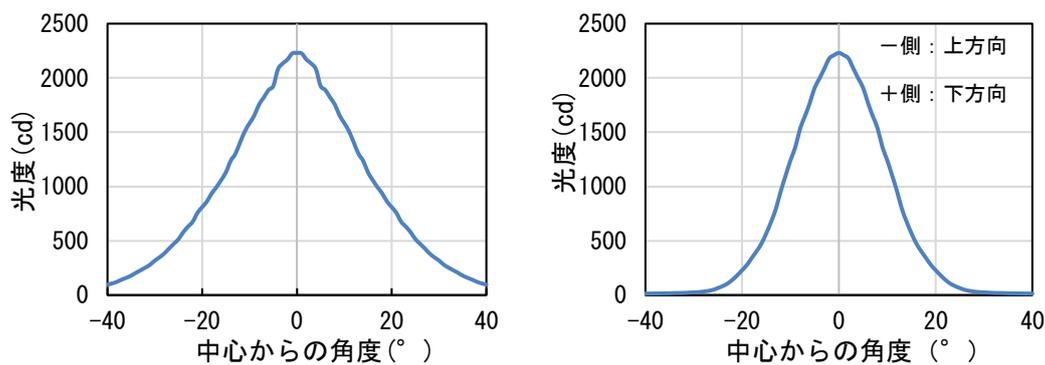


図 83 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 83 より、光度は最大で 2,230 cd、横方向の照射角は  $30^\circ$ 、縦方向の照射角は  $20^\circ$  だった（広がりイメージは写真 31（右）を参照）。中心から上方向の照射角も約  $10^\circ$  となり大きいですが、横に比べ縦の照射角は狭く楕円配光となっており、対向者の眩惑への考慮が伺える。

供試品 23 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 84 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

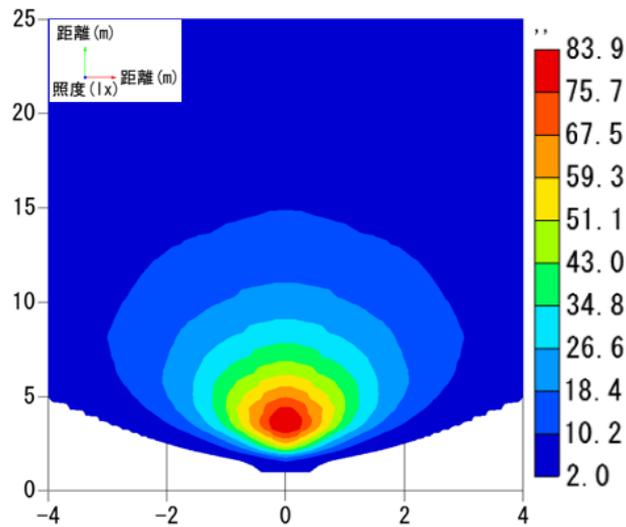


図 84 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 84 より、1 m の高さから光軸を下方向へ $5^{\circ}$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 83.9 lx となった。照度距離は約 27 m だった。

供試品 23 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 85 に示す。

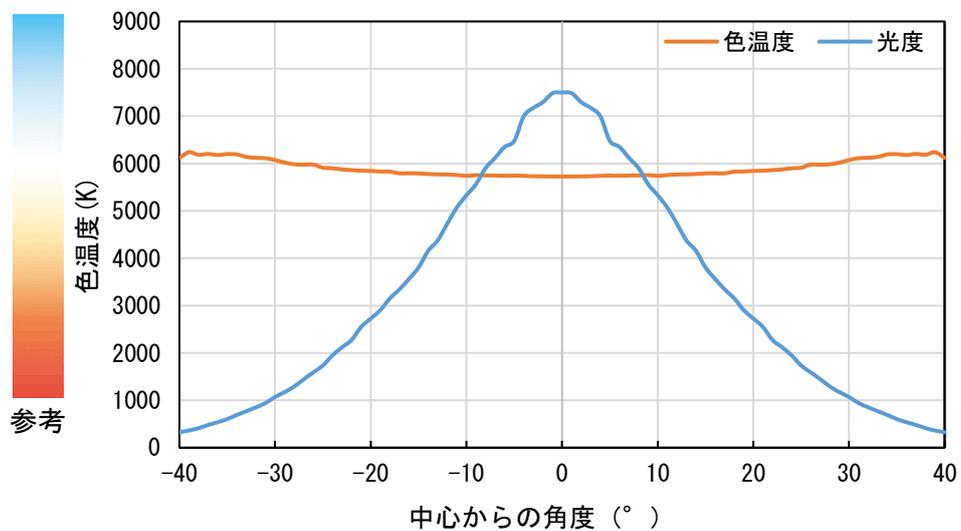


図 85 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 85 より、色温度の平均は 5,910 K（写真 31 参照）。また、色温度の最大は 6,239 K、最小は 5,727 K であり、差は 512 K であった。色むらは非常に小さく、色温度も低いため、夜間に雨や霧の中を走行しても前方がよく見え、安全性に優れた設計である。

## 7.24 供試品 24 について

供試品 24 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 32 に示す。

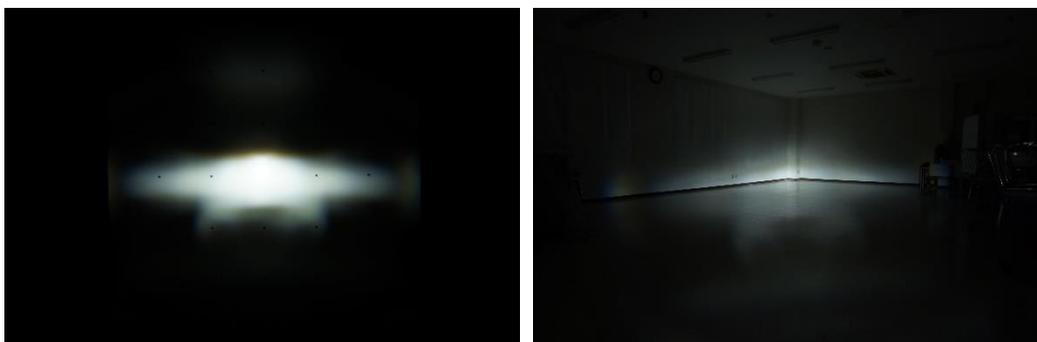


写真 32 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 32 より、鉛直面写真から供試品は特殊な配光であった。

供試品 24 の中心からの角度と光度との関係を図 86 に示す。

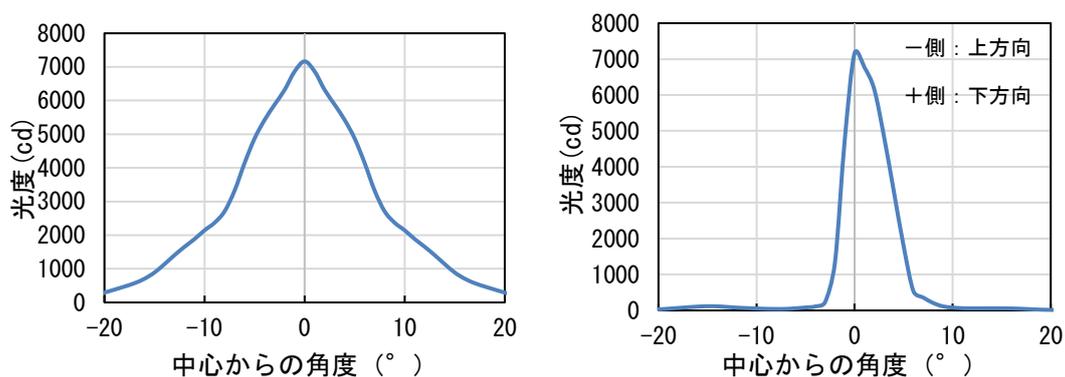


図 86 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 86 より、光度は最大で 7,165 cd、照射角は横方向  $15^\circ$ 、縦方向  $5^\circ$  だった（広がりイメージは写真 32（右）を参照）。中心から上方向の照射角は  $5^\circ$  以下と狭いため対向者への眩惑は少なく、横方向の光の広がり大きい。そのため乗員の使いやすさ及び対向者の眩惑の両方に考慮した設計であった。

供試品 24 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 87 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

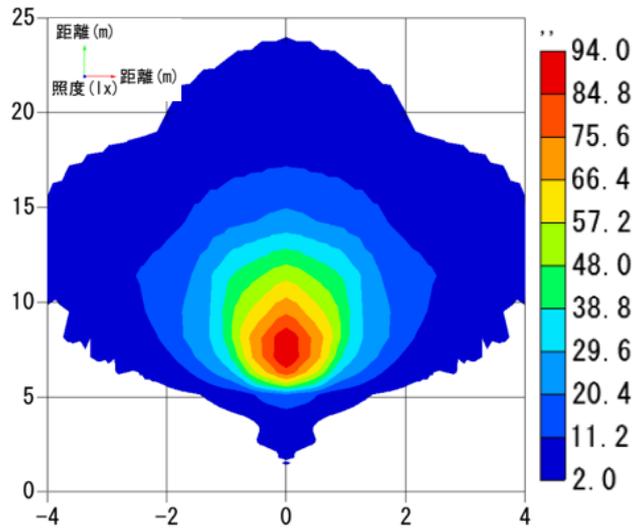


図 87 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 87 より、1 m の高さから光軸を下方向へ $5^{\circ}$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 94.0 lx となった。照度距離は約 20 m だった。

供試品 23 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 88 に示す。

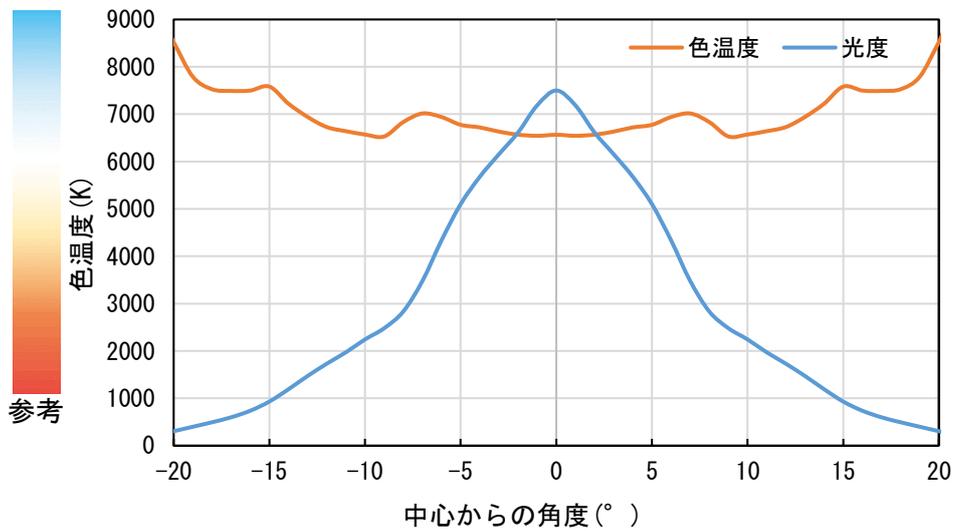


図 88 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 88 より、色温度の平均は 7,042 K（写真 32 参照）。また、色温度の最大は 8,521 K、最小は 6,529 K であり、差は 1,992 K であった。色むらは少なかった。

## 7.25 供試品 25 について

供試品 25 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 33 に示す。



写真 33 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 33 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。  
供試品 25 の中心からの角度と光度との関係を図 89 に示す。

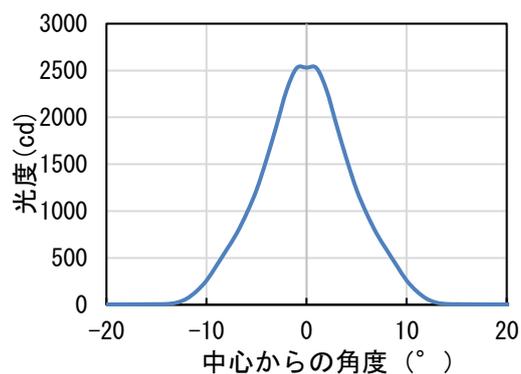


図 89 中心からの角度と光度との関係

図 89 より、光度は最大で 2,530 cd、横方向と縦方向の照射角は  $10^\circ$  だった（広がりイメージは写真 33（右）を参照）。中心から上方方向の照射角は約  $5^\circ$  と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 25 の水平面に照射した時の距離と照度の関係を図 90 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

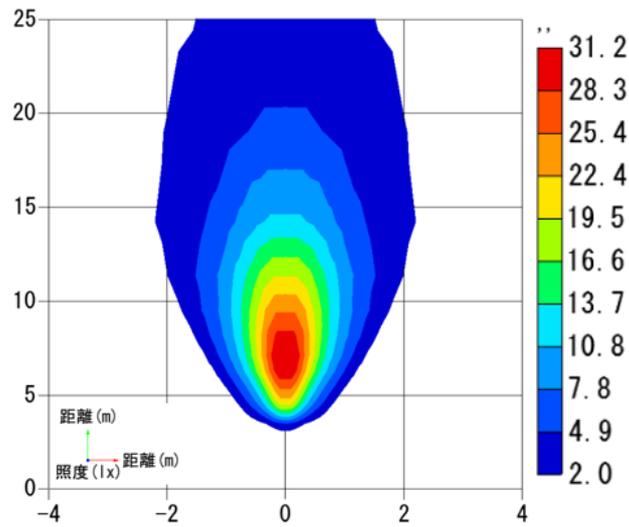


図 90 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 90 より、1 m の高さから光軸を下方向へ $5^{\circ}$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 31.2 lx となった。照度距離は約 24 m だった。

供試品 25 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 91 に示す。

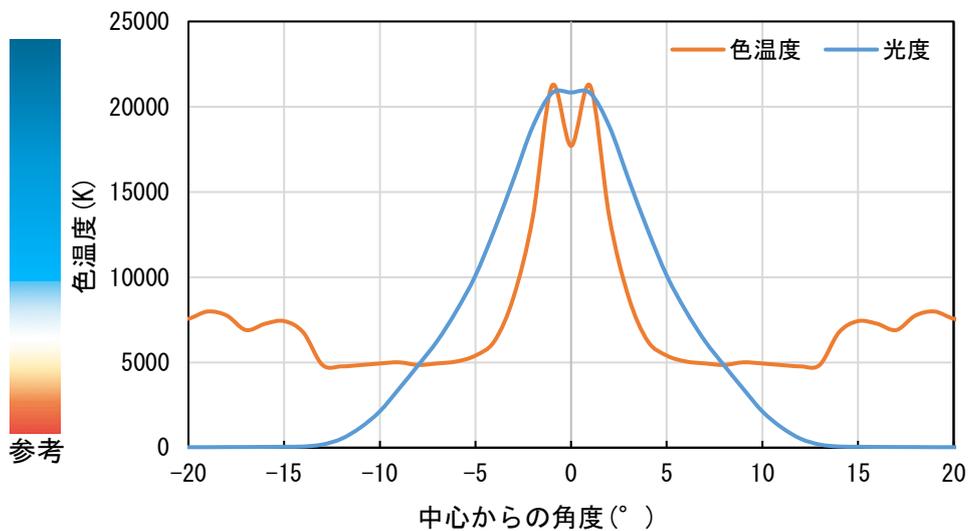


図 91 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 91 より、色温度の平均は 7,563 K（写真 33 参照）。また、色温度の最大は 21,224 K、最小は 4,769 K であり、差は 16,455 K であった。光度が大きい中心部近傍は 20,000 K 以上あり全体的に青いため、夜間の雨や霧での走行時には散乱の影響で前方が見えにくくなる可能性がある。

## 7.26 供試品 26 について

供試品 26 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 34 に示す。

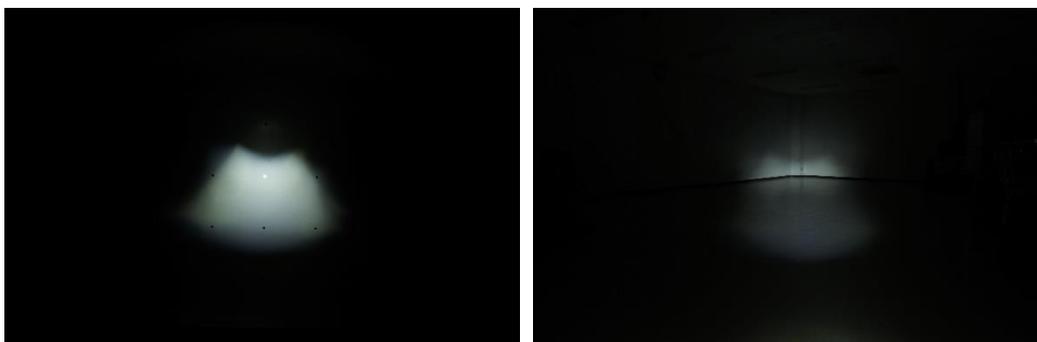


写真 34 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 34 より、鉛直面写真から供試品は横長形の配光であった。

供試品 26 の中心からの角度と光度との関係を図 92 に示す。

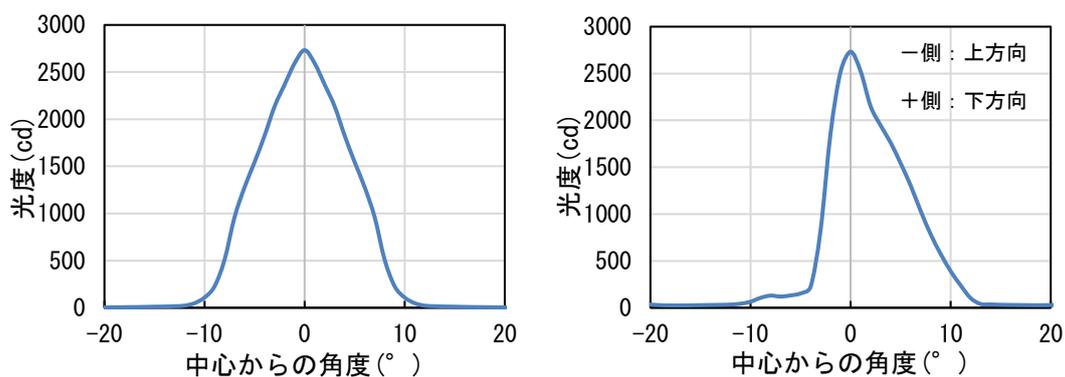


図 92 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 92 より、光度は最大で 2,733 cd、横方向と縦方向の照射角は  $10^\circ$  だった（広がりイメージは写真 34（右）を参照）。中心から上方向の照射角は約  $5^\circ$  と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 26 の水平面及び照射した時の距離と照度との関係を図 93 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

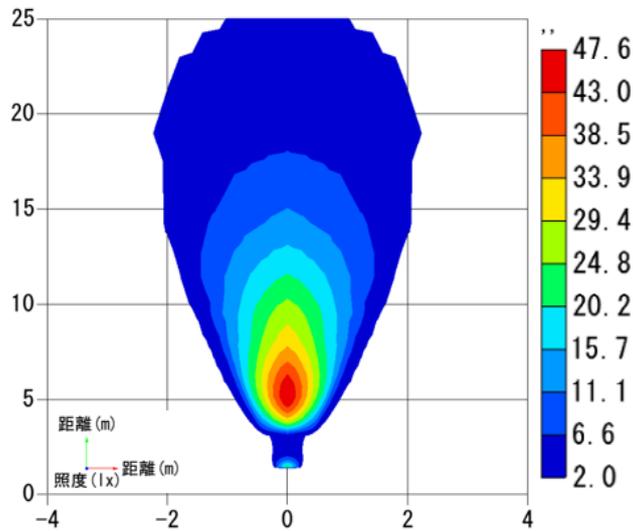


図 93 水平面に照射した時の距と照度の関係

図 93 より、1 m の高さから光軸を下方向へ $5^{\circ}$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 47.6 lx となった。照度距離は約 21 m だった。

供試品 26 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 94 に示す。

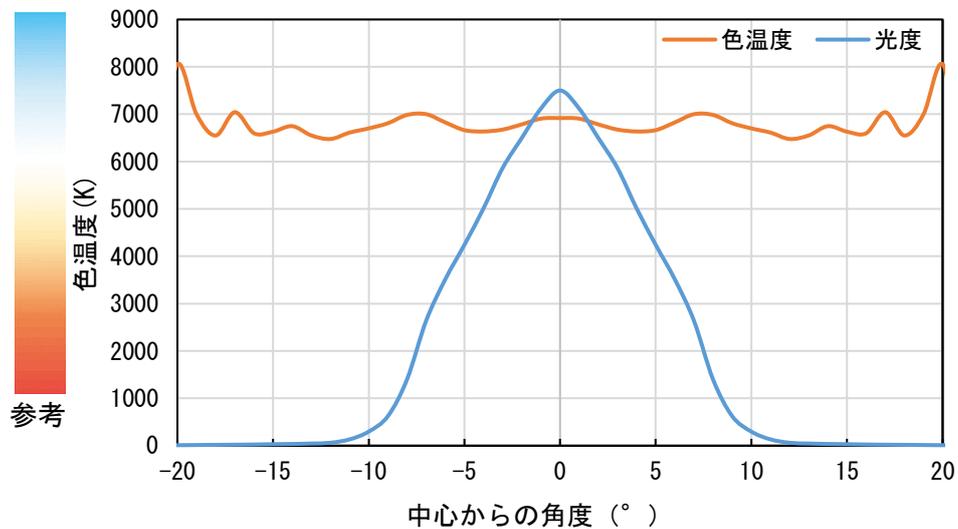


図 94 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 94 より、色温度の平均は 6,815 K（写真 34 参照）。また、色温度の最大は 8,058 K、最小は 6,476 K であり、差は 1,582 K であった。色むらは少なかった。

## 7.27 供試品 27 について

供試品 27 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 35 に示す。



写真 35 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 35 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。

供試品 27 の中心からの角度と光度との関係を図 95 に示す。

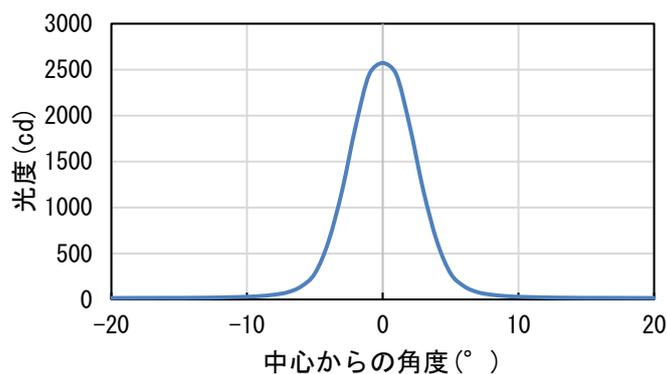


図 95 中心からの角度と光度との関係

図 95 より、光度は最大で 2,573 cd、横方向と縦方向の照射角は  $5^{\circ}$  だった（広がりイメージは写真 35（右）を参照）。中心から上方向の照射角は  $5^{\circ}$  以下と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 27 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 96 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

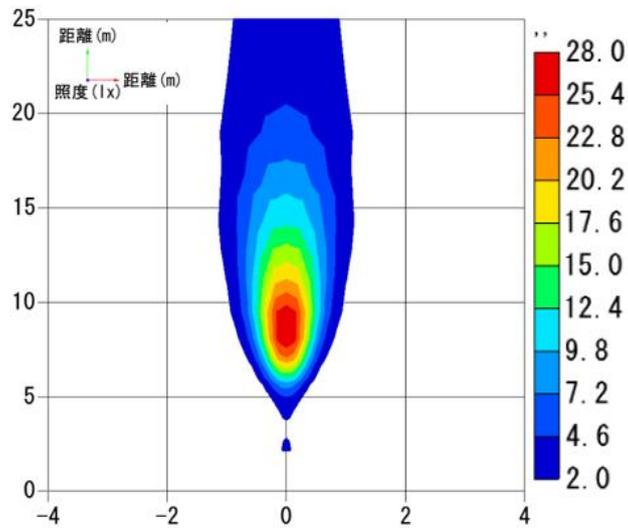


図 96 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 96 より、1 m の高さから光軸を下方へ  $5^\circ$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 28.0 lx となった。照度距離は約 23 m だった。

供試品 27 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 97 に示す。

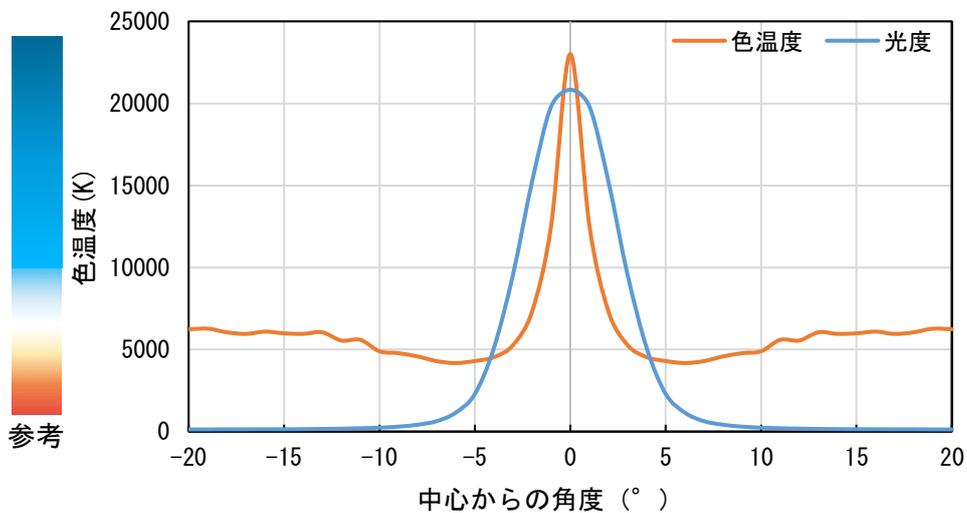


図 97 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 97 より、色温度の平均は 6,242 K（写真 35 参照）。また、色温度の最大は 23,000 K、最小は 4,176 K であり、差は 18,824 K であった。光度が大きい中心部近傍は 20,000 K 以上あり全体的に青いため、夜間の雨や霧での走行時には散乱の影響で前方が見えにくくなる可能性がある。

## 7.28 供試品 28 について

供試品 28 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 36 に示す。

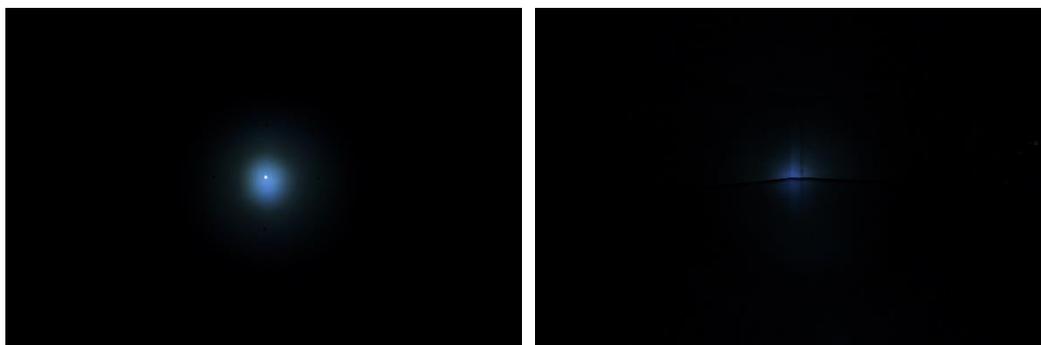


写真 36 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 36 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。

供試品 28 の中心からの角度と光度との関係を図 98 に示す。

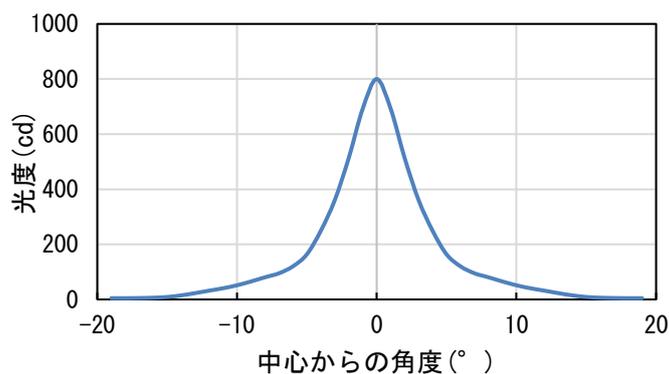


図 98 中心からの角度と光度との関係

図 98 より、光度は最大で 800 cd、横方向と縦方向の照射角は  $5^{\circ}$  だった（広がりイメージは写真 36（右）を参照）。中心から上方向の照射角は  $5^{\circ}$  以下と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 28 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 99 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

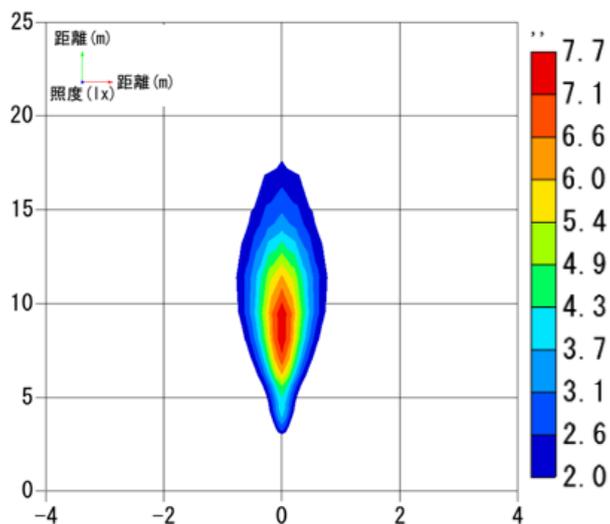


図 99 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 99 より、1 m の高さから光軸を下方へ  $5^\circ$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 7.7 lx となった。照度距離は約 15 m だった。

供試品 28 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 100 に示す。

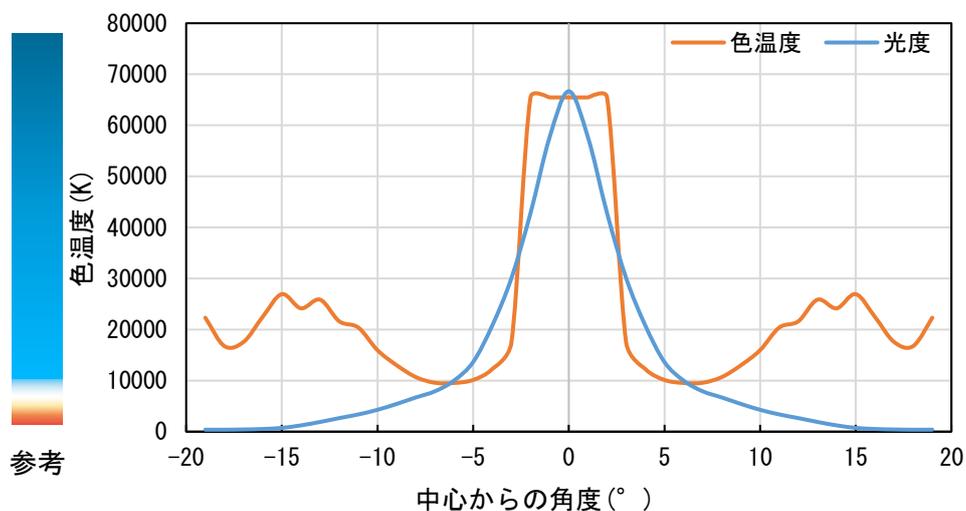


図 100 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 100 より、色温度の平均は 23,611 K（写真 36 参照）。また、色温度の最大は 65,470 K、最小は 9,540 K であり、差は 55,930 K であった。光度が大きい中心部近傍は 60,000 K 以上あり全体的に青いため、夜間の雨や霧での走行時には散乱の影響で前方が見えにくくなる可能性がある。色度は JIS C 9502:2021 6.4 に規定された色度座標の範囲外であった。

## 7.29 供試品 29 について

供試品 29 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 37 に示す。



写真 37 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 37 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。

供試品 29 の中心からの角度と光度との関係を図 101 に示す。

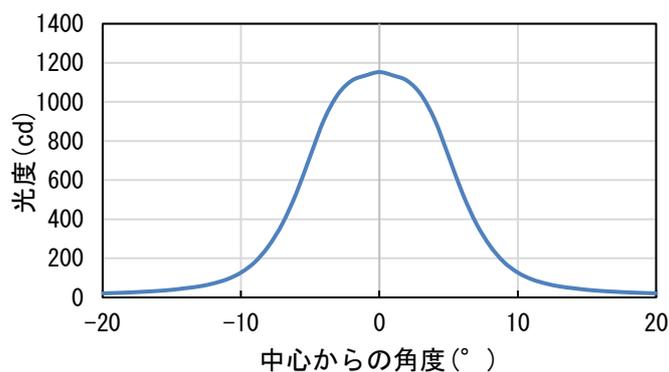


図 101 中心からの角度と光度との関係

図 101 より、光度は最大で 1,153 cd、横方向と縦方向の照射角は  $10^{\circ}$  だった（広がりイメージは写真 37（右）を参照）。中心から上方向の照射角は約  $5^{\circ}$  と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 29 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 102 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

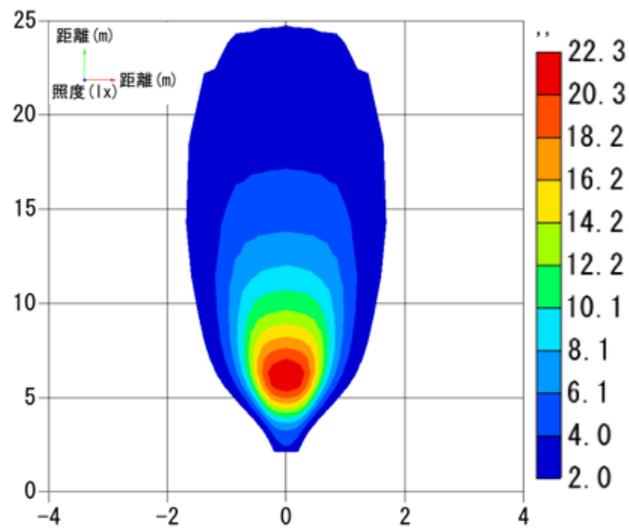


図 102 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 102 より、1 m の高さから光軸を下方向へ  $5^\circ$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 22.3 lx となった。照度距離は約 19 m だった。

供試品 29 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 103 に示す。

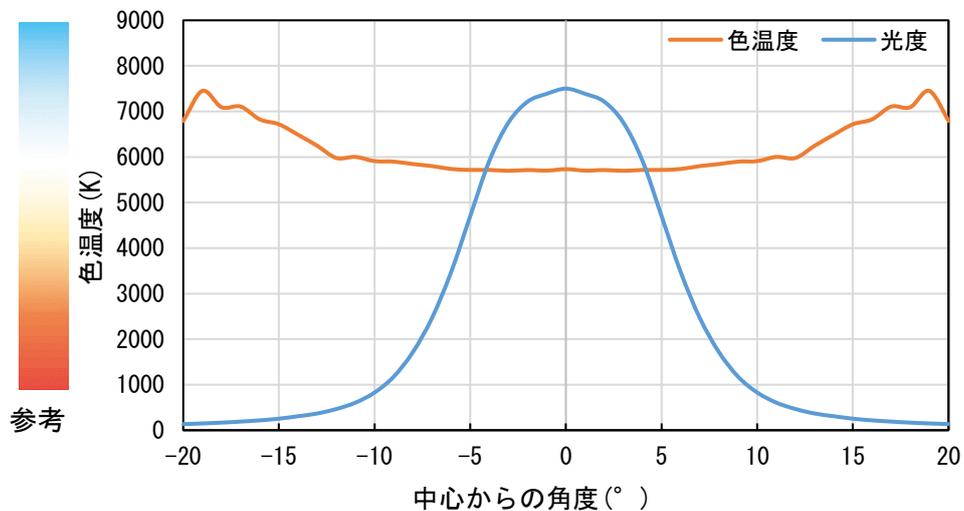


図 103 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 103 より、色温度の平均は 6,209 K（写真 37 参照）。また、色温度の最大は 7,451 K、最小は 5,697 K であり、差は 1,754 K であった。色むらは少なかった。

### 7.30 供試品 30 について

供試品 30 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 38 に示す。



写真 38 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 38 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。

供試品 30 の中心からの角度と光度との関係を図 104 に示す。

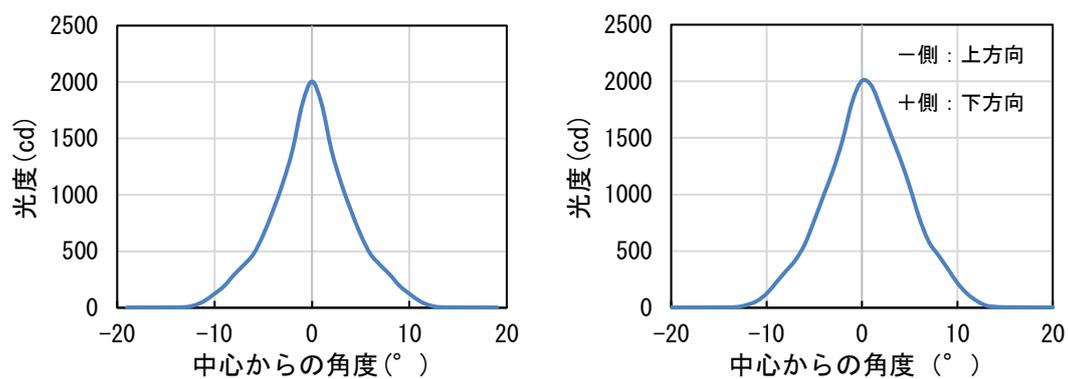


図 104 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 104 より、光度は最大で 2,005 cd、横方向と縦方向の照射角は  $10^\circ$  だった（広がりイメージは写真 38（右）を参照）。中心から上方向の照射角は  $5^\circ$  以下と狭いため対向者への眩惑は少ない。照射角は横より縦の方がわずかに大きかった。

供試品 30 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 105 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

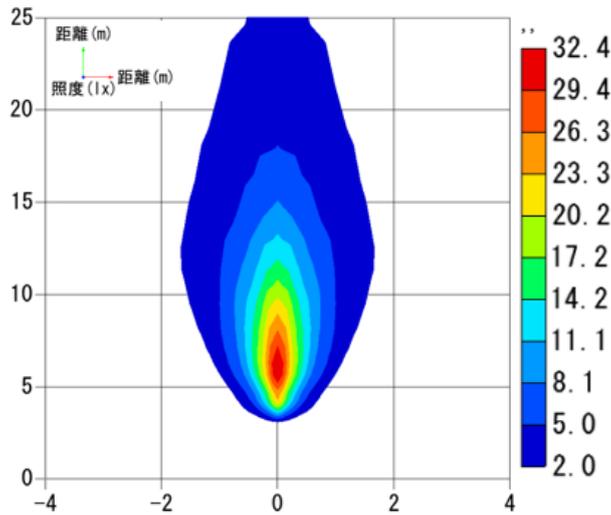


図 105 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 105 より、1 m の高さから光軸を下方向へ  $5^\circ$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 32.4 lx となった。照度距離は約 22 m だった。

供試品 30 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 106 に示す。

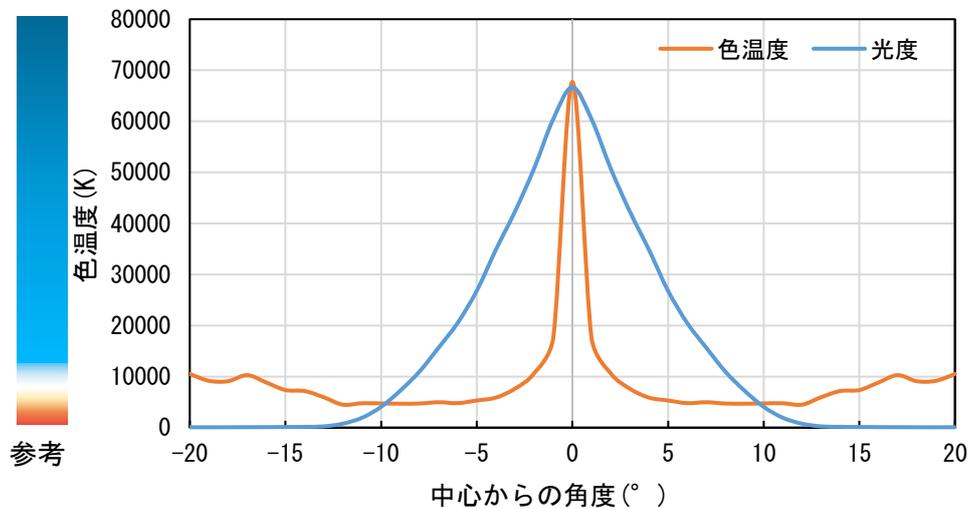


図 106 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 106 より、色温度の平均は 8,909 K（写真 38 参照）。また、色温度の最大は 67,718 K、最小は 4,504 K であり、差は 63,214 K であった。光度が大きい中心部近傍は 60,000 K 以上あり全体的に青いため、夜間の雨や霧での走行時には散乱の影響で前方が見えにくくなる可能性がある。色度は JIS C 9502:2021 6.4 に規定された色度座標の範囲外であった。

### 7.31 供試品 31 について

供試品 31 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 39 に示す。



写真 39 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 39 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。

供試品 31 の中心からの角度と光度との関係を図 107 に示す。

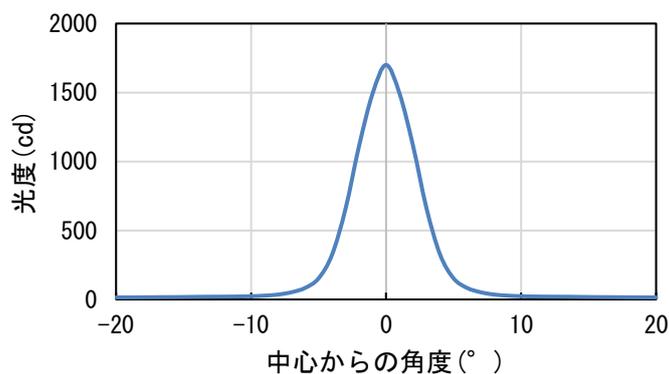


図 107 中心からの角度と光度との関係

図 107 より、光度は最大で 1,700 cd、横方向と縦方向の照射角は  $5^{\circ}$  だった（広がりイメージは写真 39（右）を参照）。中心から上方の照射角は  $5^{\circ}$  以下と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 31 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 108 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

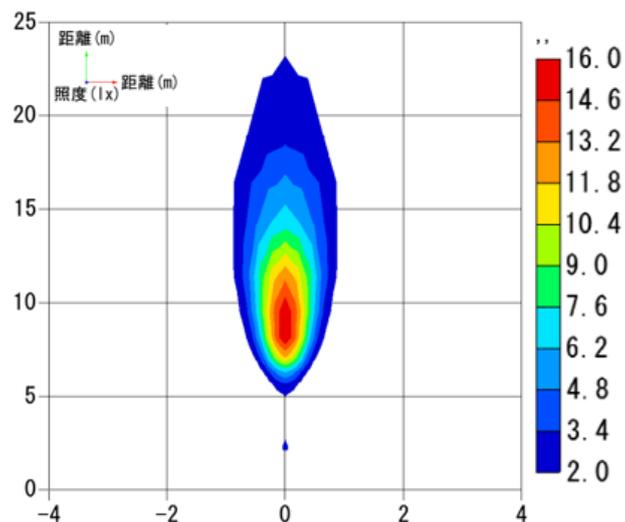


図 108 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 108 より、1 m の高さから光軸を下方向へ  $5^\circ$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 16.0 lx となった。照度距離は約 19 m だった。

供試品 31 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 109 に示す。

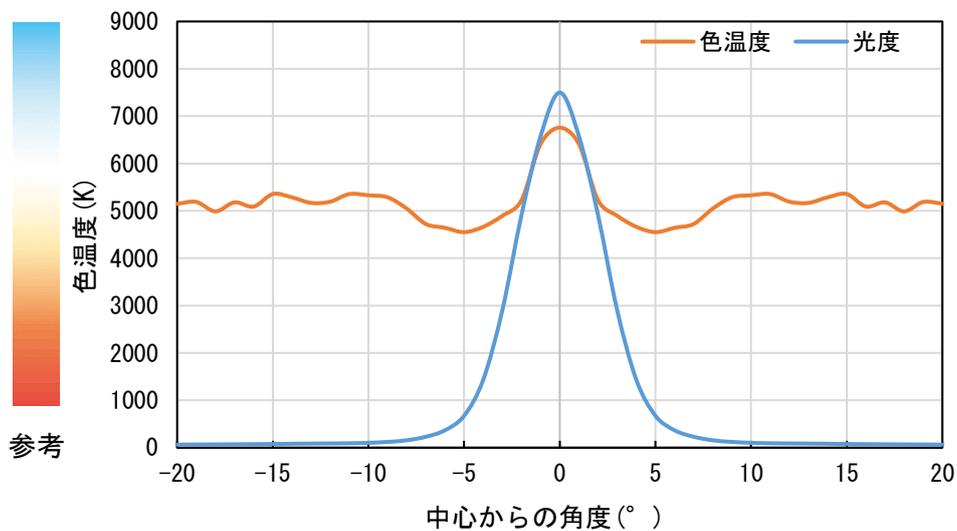


図 109 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 109 より、色温度の平均は 5,176 K（写真 39 参照）。また、色温度の最大は 6,757 K、最小は 4,551 K であり、差は 2,206 K であった。色むらは少なかった。

### 7.32 供試品 32 について

供試品 32 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 40 に示す。



写真 40 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 40 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。

供試品 32 の中心からの角度と光度との関係を図 110 に示す。

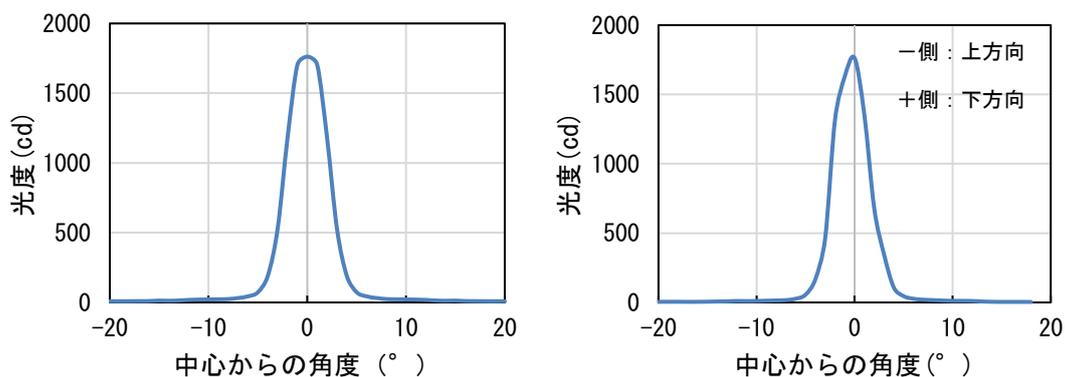


図 110 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 110 より、光度は最大で 1,763 cd、横方向と縦方向の照射角は  $5^{\circ}$  だった（広がりイメージは写真 40（右）を参照）。中心から上方向の照射角は  $5^{\circ}$  以下と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 32 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 111 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

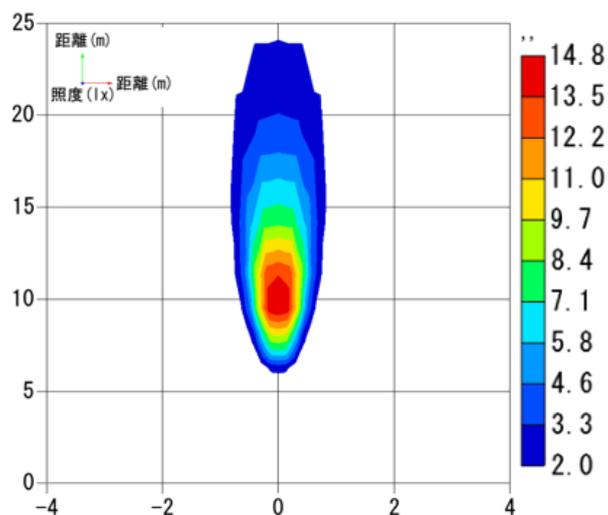


図 111 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 111 より、1 m の高さから光軸を下方向へ  $5^\circ$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 14.8 lx となった。照度距離は約 19 m だった。

供試品 32 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 112 に示す。

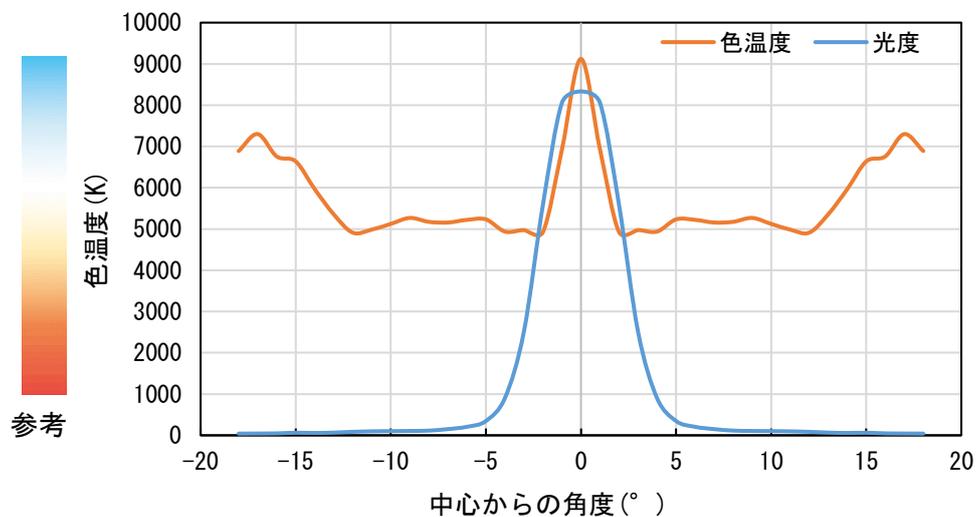


図 112 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 112 より、色温度の平均は 5,746 K（写真 40 参照）。また、色温度の最大は 9,122 K、最小は 4,911 K であり、差は 4,211 K であった。中心のみ 9,000 K 以上と青白いが、その他は約 5,000 K の白色であった。

### 7.33 供試品 33 について

供試品 33 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 41 に示す。



写真 41 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 41 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。

供試品 33 の中心からの角度と光度との関係を図 113 に示す。

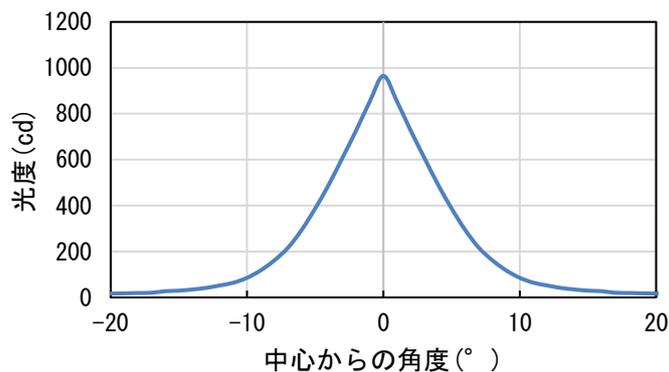


図 113 中心からの角度と光度との関係

図 113 より、光度は最大で 965 cd、横方向と縦方向の照射角は  $10^{\circ}$  だった（広がりイメージは写真 41（右）を参照）。中心から上方の照射角は  $5^{\circ}$  以下と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 33 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 114 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

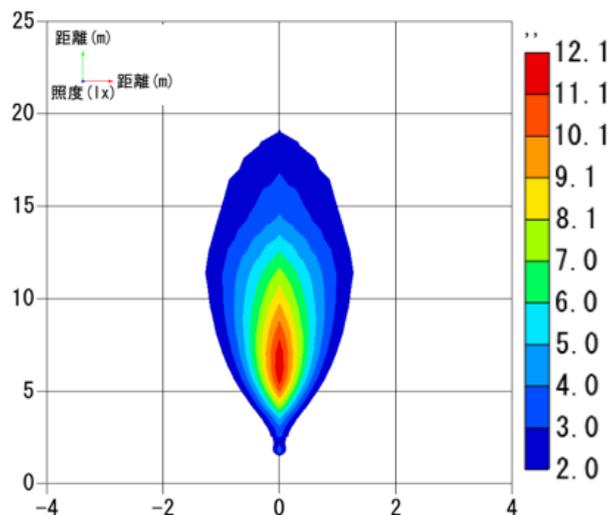


図 114 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 114 より、1 m の高さから光軸を下方向へ  $5^\circ$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 12.1 lx となった。照度距離は約 16 m だった。

供試品 33 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 115 に示す。

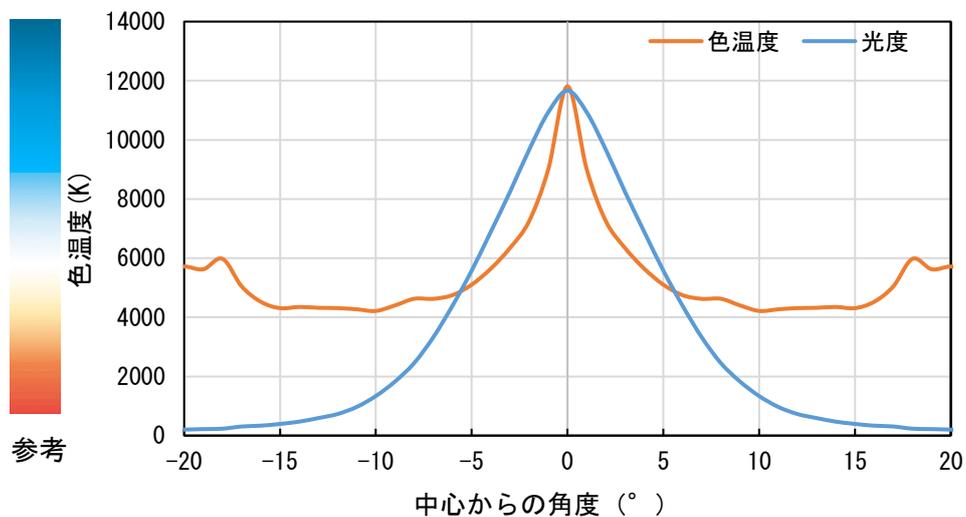


図 115 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 115 より、色温度の平均は 5,382 K（写真 41 参照）。また、色温度の最大は 11,810 K、最小は 4,215 K であり、差は 7,595 K であった。中心のみ 10,000 K 以上と青いが、その他は約 4,000 から 5,000 K の白色であった。

### 7.34 供試品 34 について

供試品 34 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 42 に示す。



写真 42 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 42 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。

供試品 34 の中心からの角度と光度との関係を図 116 に示す。

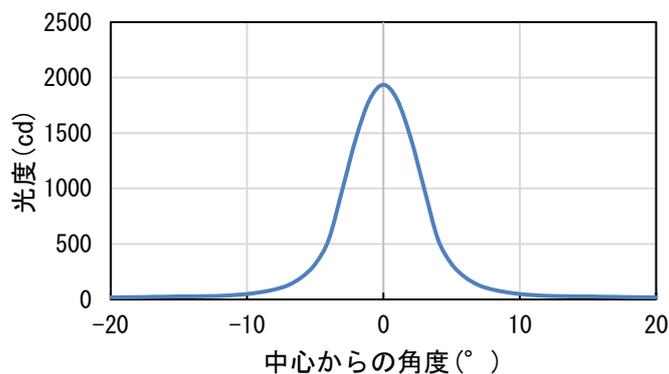


図 116 中心からの角度と光度との関係

図 116 より、光度は最大で 965 cd、横方向と縦方向の照射角は  $10^{\circ}$  だった（広がりイメージは写真 42（右）を参照）。中心から上方方向の照射角は  $5^{\circ}$  以下と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 34 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 117 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

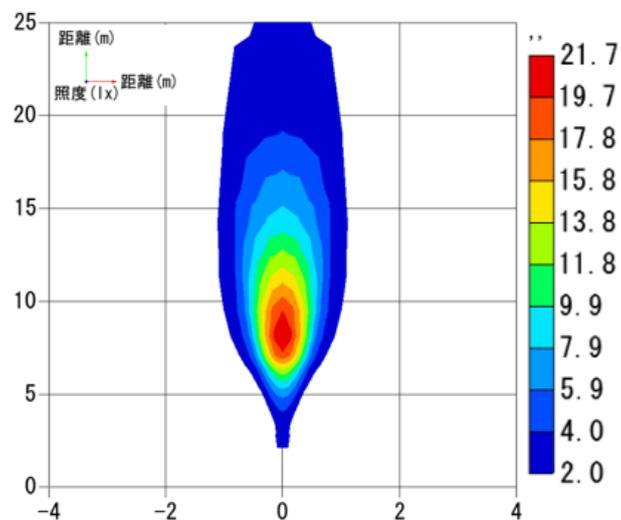


図 117 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 117 より、1 m の高さから光軸を下方向へ  $5^\circ$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 21.7 lx となった。照度距離は約 21 m だった。

供試品 34 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 118 に示す。

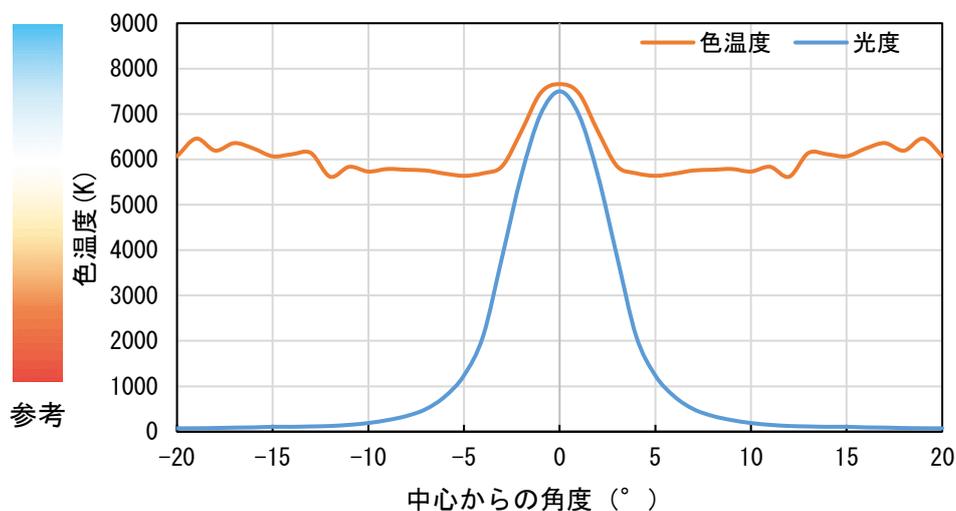


図 118 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 118 より、色温度の平均は 6,093 K（写真 42 参照）。また、色温度の最大は 7,659 K、最小は 5,618 K であり、差は 2,041 K であった。色むらは少なかった。

### 7.35 供試品 35 について

供試品 35 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 43 に示す。



写真 43 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 43 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。

供試品 35 の中心からの角度と光度との関係を図 119 に示す。

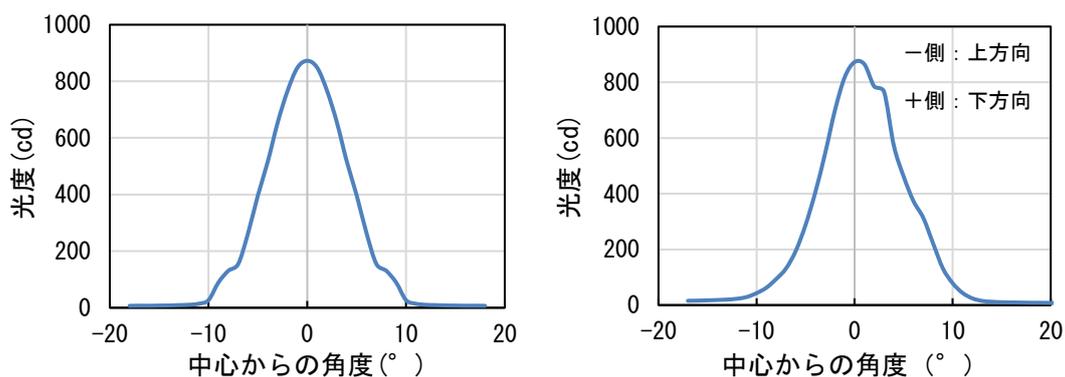


図 119 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 119 より、光度は最大で 873 cd、横方向と縦方向の照射角は  $10^{\circ}$  だった（広がりイメージは写真 43（右）を参照）。中心から上方向の照射角は  $5^{\circ}$  以下と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 35 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 120 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

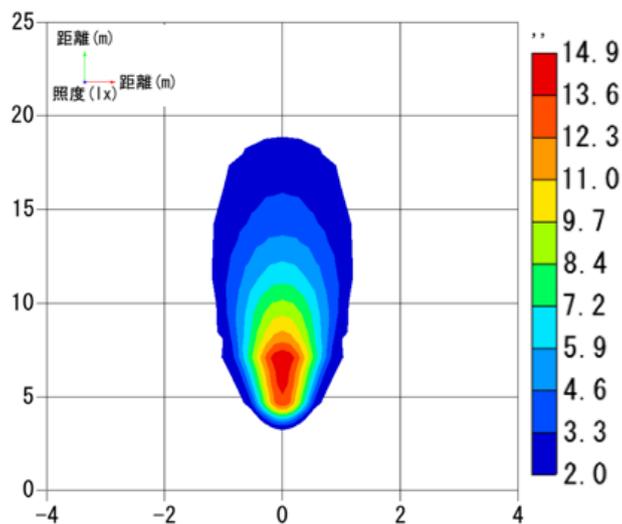


図 120 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 120 より、1 m の高さから光軸を下方向へ  $5^\circ$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 14.9 lx となった。照度距離は約 16 m だった。

供試品 35 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 121 に示す。

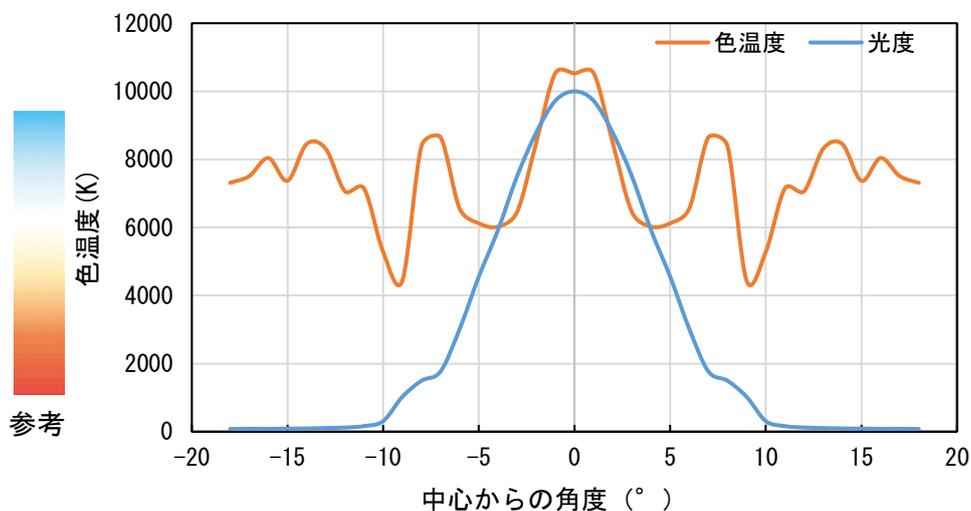


図 121 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 121 より、色温度の平均は 7,426 K（写真 43 参照）。また、色温度の最大は 10,535 K、最小は 4,432 K であり、差は 6,103 K であった。光源が複数個あるためか、角度ごとに色温度が上下していた。

### 7.36 供試品 36 について

供試品 36 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 44 に示す。

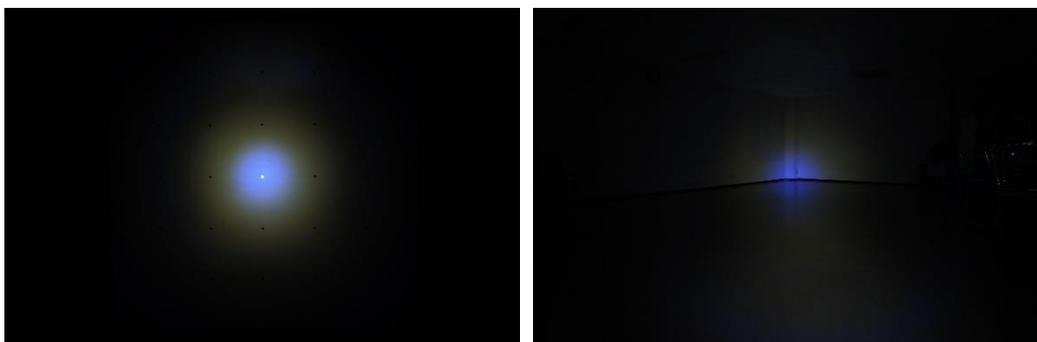


写真 44 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 44 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であった。

供試品 36 の中心からの角度と光度との関係を図 122 に示す。

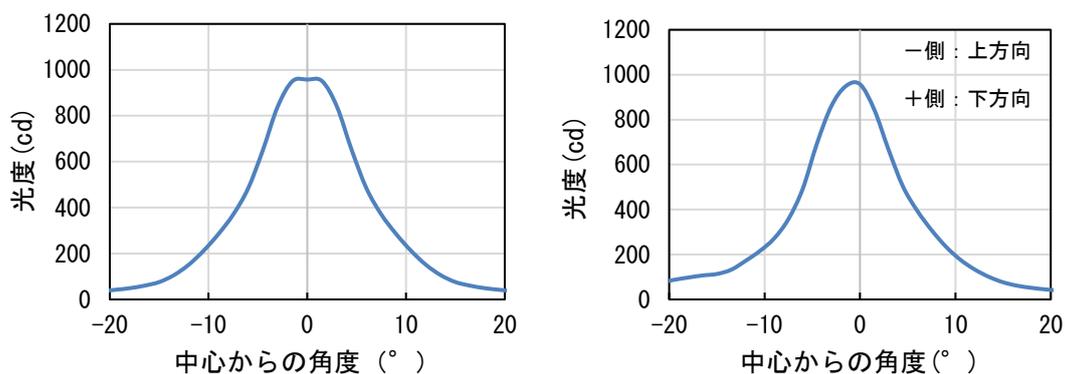


図 122 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 122 より、光度は最大で 958 cd、横方向と縦方向の照射角は  $10^\circ$  だった（広がりイメージは写真 44（右）を参照）。中心から上方への照射角は約  $5^\circ$  と狭いため対向者への眩惑は少ない。

供試品 36 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 123 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

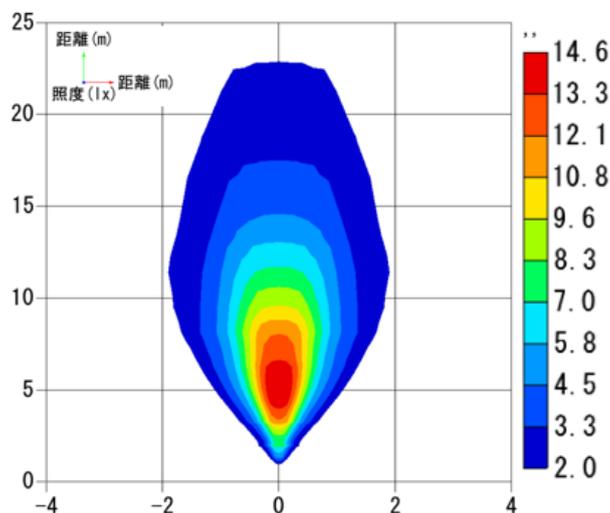


図 123 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 123 より、1 m の高さから光軸を下方向へ  $5^\circ$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 14.6 lx となった。照度距離は約 18 m だった。

供試品 36 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 124 に示す。

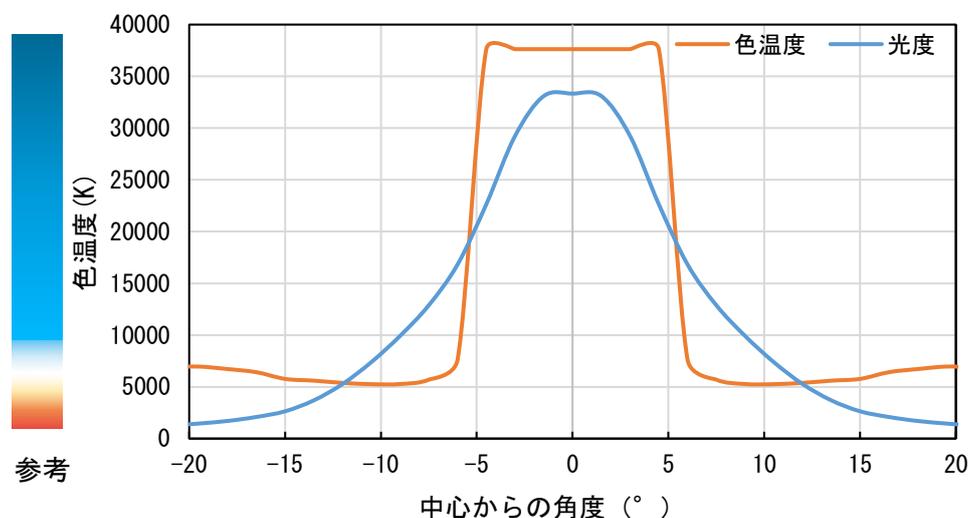


図 124 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 124 より、色温度の平均は 14,250 K（写真 44 参照）。また、色温度の最大は 37,628 K、最小は 5,259 K であり、差は 32,369 K であった。光度が大きい中心部近傍は 30,000 K 以上あり全体的に青いため、夜間の雨や霧での走行時には散乱の影響で前方が見えにくくなる可能性がある。色度は JIS C 9502:2021 6.4 に規定された色度座標の範囲外であった。

### 7.37 供試品 37 について

供試品 37 の鉛直面と水平面に照射した時の様子を写真 45 に示す。

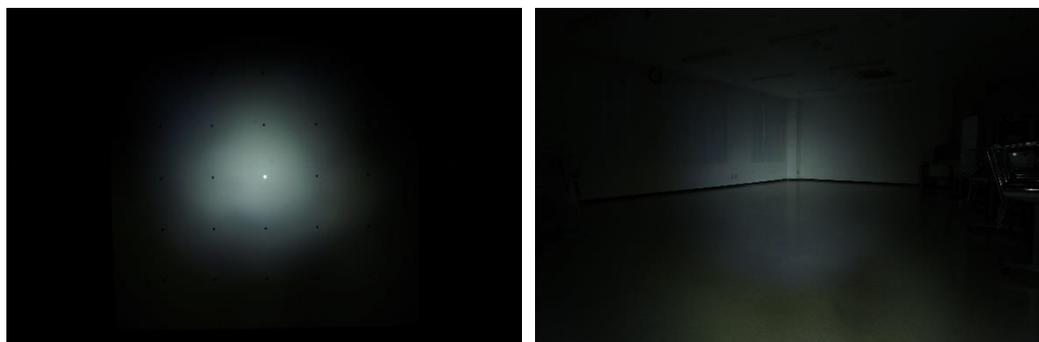


写真 45 鉛直面（左）と水平面（右）

写真 45 より、鉛直面写真から供試品は円形配光であり、水平面へ照射した光は手前と奥で光の広がり異なることがわかった。

供試品 37 の中心からの角度と光度との関係を図 125 に示す。

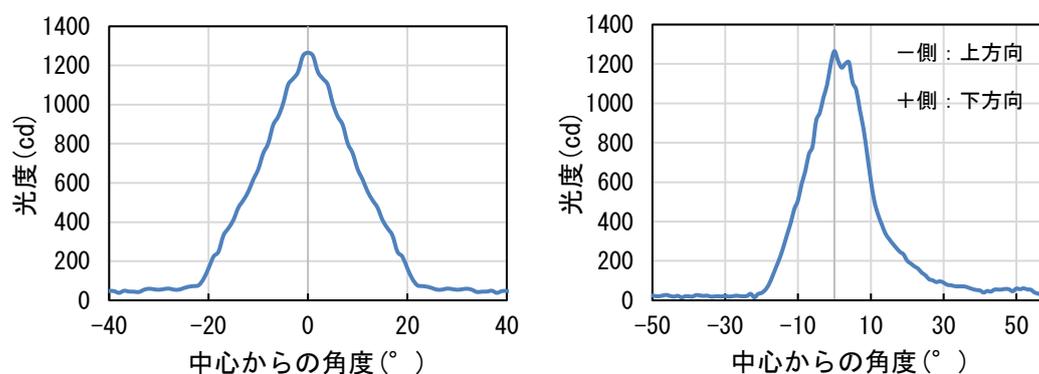


図 125 中心からの角度と光度との関係（左：横方向、右：縦方向）

図 125 より、光度は最大で 1,265 cd、照射角は横方向  $20^{\circ}$ 、縦方向  $20^{\circ}$  だった（広がりイメージは写真 45（右）を参照）。中心から上方向の照射角は約  $10^{\circ}$  であり、下方向の照射は数十 cd の光が  $60^{\circ}$  近傍まで続くため、足元は明るい。そのため乗員の使いやすさに考慮した設計であった。

供試品 37 の水平面に照射した時の距離と照度との関係を図 126 に示す。横軸は乗員から見て左右の距離、縦軸は乗員から見て前方の距離である。照度は等値線図で示した。

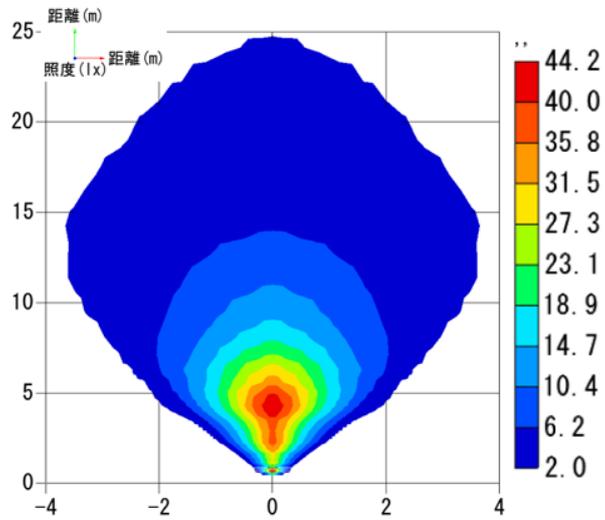


図 126 水平面に照射した時の距離と照度との関係

図 126 より、1 m の高さから光軸を下方へ  $5^\circ$  傾け、水平面に光を照射した時、最大照度は約 44.2 lx となった。照度距離は約 19 m だった。

供試品 37 の中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係を図 127 に示す。

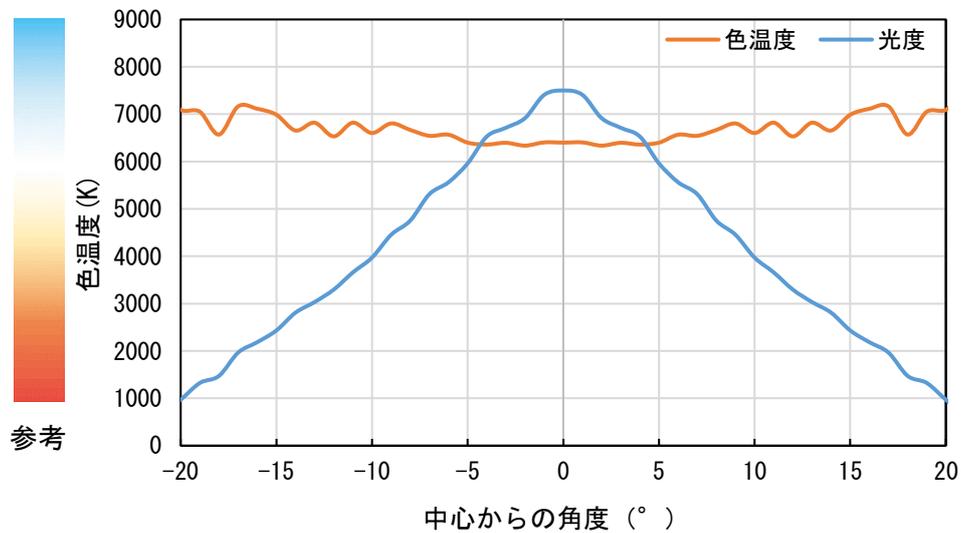


図 127 中心からの横方向の角度と色温度及び光度との関係（光度は正規化）

図 127 より、色温度の平均は 6,687 K（写真 45 参照）。また、色温度の最大は 7,164 K、最小は 6,336 K であり、差は 828 K であった。色むらは少なかった。