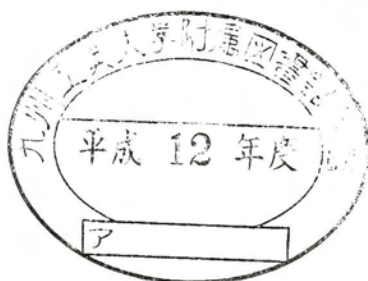


377.5

K-11

1-139

# 新型道路交通信号灯器の設計と 光学特性に関する研究



宮内 真人

九州工業大学附属図書館



\*10380095\*

# 目次

<b>第1章 緒言</b>	<b>1</b>
1.1 研究の背景	1
1.1.1 道路交通信号灯器の歴史	1
1.1.2 道路交通信号灯器の問題点	3
1.2 研究の目的および論文の構成と概要	4
<b>第2章 遮光板型道路交通信号灯器の設計</b>	<b>6</b>
2.1 遮光板型レンズユニットの設計	6
2.2 多眼球レンズユニットの光線軌跡	7
2.3 遮光板型レンズユニットの原理	11
2.3.1 遮光板型レンズユニット	11
2.4 遮光板型レンズユニットの構造	16
2.5 遮光板型レンズユニットの総合特性	20
2.5.1 実験方法	20
2.5.2 実験結果および考察	23
2.5.3 太陽光ファントム比	34
2.6 伝熱特性	38
2.6.1 伝熱流体の基礎式	38
2.6.2 測定方法および理論計算	43
2.6.3 測定結果および考察	44
2.7 結論	52
<b>第3章 遮光膜型道路交通信号灯器の設計</b>	<b>53</b>
3.1 遮光膜型レンズユニットの設計	53
3.1.1 遮光膜型レンズユニットの構造	53
3.2 遮光膜型レンズユニットの総合特性	57
3.2.1 実験方法	57
3.2.2 実験結果および考察	60
3.2.3 太陽光ファントム比	71
3.3 結論	77

<b>第 4 章 遮光膜型歩行者用道路交通信号灯器の設計</b>	<b>78</b>
4.1 遮光膜型歩行者用交通信号灯器の設計	78
4.1.1 遮光膜型歩行者交通信号灯器の構造	78
4.1.2 実験方法	85
4.2 結果および考察	85
4.2.1 光度分布	85
4.2.2 太陽光ファントム比	92
4.3 結論	95
<b>第 5 章 結言</b>	<b>96</b>
<b>謝辞</b>	<b>99</b>
<b>参考文献</b>	<b>100</b>
<b>付 録 A 道路交通信号灯器仕様書</b>	<b>103</b>
A.1 金属製車輛用交通信号灯器仕様書	103
A.1.1 総 則	103
A.1.2 設計条件	104
A.1.3 構成及び構造	105
A.1.4 性能	107
A.1.5 検査	111
A.2 金属製歩行者用交通信号灯器仕様書	113
A.2.1 総 則	113
A.2.2 設計条件	114
A.2.3 構成及び構造	115
A.2.4 性能	117
A.2.5 検査	119
A.3 疑似点灯防止型ランプユニット仕様書	121
A.3.1 総 則	121
A.3.2 設計条件	122
A.3.3 構成及び構造	123
A.3.4 性能	125
A.3.5 検査	128
<b>付 録 B 多眼球レンズ板の光線軌跡</b>	<b>129</b>
<b>付 録 C 式 (2.5) の導出</b>	<b>132</b>
<b>付 録 D 式 (2.16),(2.17),(2.19),(2.20) の導出</b>	<b>134</b>
<b>付 録 E 道路交通信号灯器設計図</b>	<b>138</b>



## 本論文で使用する記号一覧

### 伝熱工学

$\theta$	: 温度	[°C]
$\theta_f$	: 流体温度	[°C]
$\theta_w$	: 壁面温度	[°C]
$\theta_\infty$	: 周囲温度	[°C]
$\rho$	: 密度	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_\infty$	: 周囲流体の密度	[kg/m <sup>3</sup> ]
$u$	: x 方向速度	[m/s]
$v$	: y 方向速度	[m/s]
$U_0$	: 理論速度	[m/s]
$g$	: 重力加速度	[m/s <sup>2</sup> ]
$\nu$	: 動粘性係数	[m <sup>2</sup> /s]
$a$	: 温度伝導率	[m <sup>2</sup> /s]
$\lambda$	: 熱伝導率	[w/m·k]
$\mu$	: 粘性係数	[Pa·s]
$\beta$	: 体膨張数	[1/°C]
$\alpha$	: 熱伝達率	[w/m·k]
$q_w$	: 壁面熱流速	[w/m <sup>2</sup> ]
$c_p$	: 比熱	[J/kg·K]
$\ell$	: 板厚	[mm]
$L$	: 板の全長	[mm]
$\delta$	: 境界層の厚さ	[mm]
$G_r$	: グラスホフ数	[無次元数]
$N_u$	: ヌセルト数	[無次元数]
$P_r$	: プラントル数	[無次元数]
$R_a$	: レイレー数	[無次元数]

### 幾何光学

$D_1$	: 球レンズのピッチ (4.95mm)	[mm]
$RR_1$	: レンズの曲率半径 (3.5mm)	[mm]
$S$	: 光の始発点の y 座標	
$A, B$	: 屈折点	
$I_1$	: A 点への入射角	[°]
$I_2$	: B 点への入射角	[°]
$R_1, R_2$	: 屈折角	[°]
$TH$	: 中心点より屈折点 B への角度	[°]

# 第1章 緒言

## 1.1 研究の背景

今日、我々の周囲では多様で大量の情報が溢れている。至る所で様々な視覚表示が目に入り、必要に応じた視覚情報の選択や抽出に迫られている。このような情報を選択するための手段として、色が活用されている。情報表示媒体に発光型の色を付加することにより分類、抽出が行われ、このような情報を色情報という。

色情報の代表的な例として、電球を使用した道路交通信号灯器やLEDによる案内標識広告媒体等が挙げられる。しかしながら、屋外では太陽光の影響によりこれらの色情報が失われる現象があり、特に道路交通信号灯器でこの現象が発生すると、交通事故の要因になり非常に危険な状況になる。従って、必要な色情報を分類、抽出することが大切な要因となる。

### 1.1.1 道路交通信号灯器の歴史

日本の自動車の歴史は、1898年(明治31年)にフランス人技師ジャンテブネがフランス車[パナール・ルヴァッソール]を持ち込んだことに始まる。また、大量生産は1924年(大正13年)フォードの横浜工場が始まった。

これに伴い、警察官による手信号や円形の金属表示板(ゴー、ストップを英字と邦字で書き分けた)手動装置でパタンパタンとひっくり返した“パタン式交通整理器”が親しまれていた。1930年(昭和5年)に米国レイ・ノズル社製自動交通整理器が輸入され(東京・日比谷交差点)話題を呼んだ。我が国では、1931年(昭和6年)に鉄道用信号灯器の延長に、国内初の道路交通信号灯器の生産が京三製作所において始まった。

戦前の大都市に普及した道路交通信号灯器は、その大部分が戦災で焼失した。戦後は進駐軍(憲兵司令部)の督促で復旧を図ったが、資材不足で進まなかった。業を煮やした進駐

軍は、日比谷交差点などで、練達の憲兵による手信号を始めた。かくして、大正時代の手信号がよみがえったが、1950年(昭和25年)8月には東京都内の自動車は6万台を超え、手信号では追いつけなくなり、自動(電気)信号灯器への要請が強くなった。

1960年(昭和35年)ごろには、大都市の道路は“交通戦争”と言われるまでの混雑ぶりを示した。路上はトラックやタクシーのほうが多く、車の絶対量は現在より遥かに少なかったが、交通制御のシステム機器は未発達で、道路整備も不十分であった。このため、1962年(昭和37年)に警察官の手動による交通信号制御器が設置され始めた。この翌年には、地点感応式交通信号制御器が設計され、自動的に交通流を制御できるようになった。このことによって、全国的に道路交通信号灯器が設置され始めた。

一方、人形型の歩行者用道路交通信号灯器は、1965年(昭和40年)9月に実用化となり、歩行者用道路交通信号灯器が仕様化され、人形型の歩行者用道路交通信号灯器が全国的に設置され現在に至っている [1]。

1947年(昭和22年)世界で始めて、すべての交通機関を対象に信号灯の色と色度範囲について、イギリス規格 BS1376 が制定された [2]。

1913年(大正2年)に創立された C.I.E. (Commission Internationale de l'Eclairage) では、1948年(昭和23年)技術委員会 26e が創設され、国際民間航空機関 ICAO の協力で規格統一の調査研究を始めた。1950年(昭和25年)委員会報告で、赤、黄、白、緑、青の信号灯火の色度範囲の統一基準を提案した。色度範囲は広、狭の2種類あり、前者は遠距離用(航空、海上)の高光度信号用、後者は色の識別に重点をおく信号灯(鉄道)に対するものである。この提案は多少修正され1951年(昭和26年)C.I.E. 公式勧告となった。その後この基準の実施経験、航空および航海の国際会議の討論を経て、1955年(昭和30年)信号灯の色委員会では信号灯の色の勧告として CIE Publication No.82[3] として出版された [4]。その後 C.I.E. の勧告は、1975年に若干の見直しがなされ [5]、1980年に色覚異常者を考慮した範囲が示され [6]、1994年に緑の範囲の見直しがなされ [7],[8]、今日に至っている。

ところで日本では、1922年(大正11年)に J.C.I.E. (日本照明委員会) が設立され、1927年(昭和2年)に C.I.E. に加盟し、第二次世界大戦のため J.C.I.E. は活動を中止、1955年(昭和30年)に C.I.E. に復帰している。そして、1959年(昭和34年)に C.I.E. 勧告 [3] が日本で紹介され [9]、その後、1973年(昭和48年)に日本交通管制施設協会が、わが国の交通信号灯器の色に対する勧告を行ったが、両者の勧告範囲を比較した場合、青領域に大きな相違

が存在しているのは、古来わが国では、“緑”を“青”と呼ぶ習慣があり、そのために日本独自の色度範囲を青色信号は持っているようである。よって、世界各国とは異なった青色信号灯器が現れているのが現状である。

### 1.1.2 道路交通信号灯器の問題点

1970年(昭和45年)頃から日本全国において、交通戦争という言葉が定着し、照明学会誌において、1972年(昭和47年)に、道路交通信号灯の見え方を左右する因子が、発光面の平均輝度であることや、識別域値、適正值およびまぶしさの域値を求め、道路交通信号灯の光学系の設計方向性を示された[10]。

1980年(昭和55年)に、1979年C.I.E.は視覚信号において道路交通信号灯の技術報告における通常表面色の反射率及び色度を紹介している[6]。

また、1982年(昭和57年)に、青信号の色について、その推奨範囲は、青緑に見えていることを実験により明らかにし、また青信号の色が統一されていないことを指摘されている[11],[12]。

1988年(昭和63年)に、昼間・薄暮・夜間における交通信号灯の見え方を測定し、視環境の明るさレベルと色相変化との関係について比較検討がなされ、交通量の制御という重要な役目を持つ信号灯の識別特性等を少しでも改善することは交通事故の防止に対して大いに役立つと同時に、交通システムをスムーズに運行・維持していくうえでも不可欠であると指摘されている[13]。

これらの指摘を受けて、照明学会において、1986年(昭和61年)に“道路交通信号灯の色の分布に関する研究調査委員会”が発足し、1989年(平成元年)に、全国の道路信号灯の色の分布を、色の見え方の特性を求めるために230名の被験者を用いて、赤や黄の信号灯はそれぞれ[赤信号]、[黄信号]と呼ぶにふさわしい色に見えるが、[青信号]については、青みより緑みのほうが強いものが多く、[緑信号]と呼ぶ方がふさわしと結論付けられた。また、[青信号]の色の見え方のバラツキが大きかったことは、現在の[青信号]の色がもともと色の見えがバラツキやすい色であるので、他の色に比べ、人や場所によって、色の見え方がかなり異なっている。また、この調査は、北海道から九州まで全国の信号灯を対象として行った結果、各色とも、地域による色の差異が殆どないことが明らかにされた[14]。



これらの問題以外にも、道路交通信号灯器のレンズ前面から入射した外光が道路交通信号灯器内の反射鏡に反射して、非点灯時であるにも拘わらず、あたかも点灯しているかのように見え運転手や歩行者に正しい情報を伝えることが出来ずに非常に危険な状況をかもし出している疑似点灯現象がある [15]。この現象は、季節における太陽高度に起因することから、東西方向に位置する道路交通信号灯器のみに限定できず、朝日を含めた 90%以上の範囲が影響の対象となり、殆どすべての地点で発生している。従って年間の、ある一定時間において、ドライバーや歩行者は非常に危険な状態にさらされている。

歩行者用道路交通信号灯器に関しては、横断歩道照明の照明方式の違いや照明状態の分析等の報告 [16],[17] があるが、歩行者用信号灯器に関しては、報告されていないようである。

また、外国においては、地点感应式交通信号制御器にマイクロ波を用いた例 [18]、交通量を制御するために信号灯器の時間を変化させる例 [19]、歩行者用に音声を用いた例 [20] 等、応用例が報告されているだけである。

## 1.2 研究の目的および論文の構成と概要

1986 年 (昭和 61 年) に警察庁の定めた警交仕規第 23 号 [版 2] “金属製車両用交通信号灯器仕様書” [21] が制定された。これに基づいて、疑似点灯現象の問題点を解消するために、1989 年 (平成元年) に、警視庁が警管仕第 4 号 “疑似点灯ランプユニット仕様書” [22] を作成した。

それをもとに、ルーバー方式、ハニカム方式等が考案されたが、太陽光を半分程度に減少することができたが、まだ太陽光の影響を少なくすることは出来なかった。そこで、レンズの集光作用を利用することにより、太陽光を遮光板で遮断する方式を確立したが、そのベースをなす遮光板により、

1. 太陽光を約半分カットするが、反射光がわずかに生じる。
2. 交通信号用電球の電灯光も減衰させる。
3. 渦状スリットのために道路交通信号灯器の色むらが生じる。

等のデメリットな面が生じた。そこで、基本とするコンセプトを次の 3 条件として設計に取り組んだ。

1. 車両用道路交通信号灯器のある色が非点灯のときは、太陽光を遮断してその反射光が外に現れず、外部から出来るだけ暗黒色に見えること。
2. 車両用道路交通信号灯器のある色が点灯のときは、点灯色と非点灯色との明暗のコントラストが顕著でかつ点灯色が明るく明確に見えること。
3. 歩行者用道路交通信号灯器において色の白色化を防ぎ、点灯色と非点灯色の明確な区別とともに人形の形も明確になること。

以上の条件を満足するための設計を行うこととした。

第2章では、車両用道路交通信号灯器に関して、警視庁の定める警管仕第4号の光度分布と遮光性能を満足するレンズユニットの設計について述べる [23],[24]。すなわち、直径7mmの球レンズ2876個を一体成型し、これを2枚用いることにより、従来型の信号灯器に比べ視認性が改善され、その間に遮光板を挿入することにより信号灯器内への太陽光の進入を阻止し、疑似点灯現象の発生を低減させる遮光板型レンズユニットの設計について述べる [25]。信号用電球の熱輻射による伝熱特性について、温度変化の測定とシミュレーション結果について述べる [26],[27],[28]。

第3章では、色レンズ側の多眼球レンズ裏面の表面に遮光膜を印刷した多眼球レンズを用いることにより、警視庁の定める警管仕第4号、すなわち、点灯・非点灯時の輝度と輝度比において同等の性能が得られ [29]、かつ警交仕規第23号 [版2] の光度分布を満足する、遮光膜型レンズユニットの設計について述べる [30],[31],[32]。また、信号灯器における透過光では、赤色灯が最も見え難く、黄色灯が最も見え易いが、遮光膜型レンズユニットを用いると、赤色灯と青色灯が同等の光度を有するので青色灯と同じ見え易さになっていることについて述べる [33]。

第4章では、歩行者用道路交通信号灯器に関して、警察庁の定める金属製歩行者用交通信号灯器仕様書・警交仕規第30号 [版2][34]の主たる光度分布を満足し、遮光膜型レンズユニットを装着した、歩行者用信号灯器の設計について述べる [35]。この信号灯器は、太陽光ファントム比で従来型の歩行者用信号灯器の値が3倍以上の性能を有することを明らかにする [36]。

第5章では、本研究によって得られた成果を各章ごとに要約している。

## 第2章 遮光板型道路交通信号灯器の設計

この章においては、遮光板型道路交通信号灯器の設計について述べる。まず、多眼球レンズユニット(レンズユニットと略記する)の設計を行う上で、光線軌跡法によるシミュレーション解析を行い最適な設計数値を求める。次に、レンズユニットの構造について述べ、その光学特性について考察を行う。太陽光ファントム比を定義し、従来型の車両用信号灯器の値を定量的に明らかにしている。道路交通信号灯器に太陽が照射している状態を示し、点灯状態と非点灯状態の道路交通信号灯器の明暗のコントラストが顕著でかつ点灯した色が一目で識別できることを示す。また、実験中に交通信号電球の輻射熱によってポリカーボネートの屈折率が変化したため、熱特性を明らかにし設計の考慮対象とし設計の変更を行った。最後に、この章の結論を述べる。

### 2.1 遮光板型レンズユニットの設計

球レンズは、透過した光線を急角度で屈折させ至近距離において収束する。一方、収束した光線を拡散させるという相反する特徴を有している。また、球レンズを2個用いると、1番目のレンズに平行光線を透過させると光線は収束したあと拡散するが、ある適当な距離で2番目の球レンズに透過させると平行光線に戻る。この特性を用い、2個の球レンズを用いる方式を考案した。

2876個の球レンズを配列させて集合体とし、板状の薄いレンズ板の一体成型を行った。この球レンズの集合体を多眼球レンズ板と呼ぶ。多眼球レンズ板を用いることにより、遠方に位置する太陽光線を2876個の球状レンズ面に映し出し、その裏面に同数の焦点を結び、その位置に遮光板を設置すれば、太陽光線を遮断することが出来る。よって、遮光板を多眼球レンズで挟み込み、一体としたレンズユニットの設計を行った。太陽光線を遮光板で無くすようにする方式を確立したが、そのベースを成す遮光板により、

1. 太陽光を約半分カットするが、反射光がわずかに生じる、
2. 交通信号用電球の電灯光も減衰させる、
3. 渦状スリットのために道路交通信号灯器の色むらが生じる、

等のデメリットな面が生じた。そこで、車輦用道路交通信号灯器の基本とするコンセプトを次の3条件として設計に取り組んだ。

1. 道路交通信号灯器が点灯しないときは、太陽の光を遮断して、その反射光が外に現れず、外部から出来るだけ暗黒色に見えること、
2. 道路交通信号灯器が点灯したときは、道路交通信号灯器の凹面鏡に反射して集中投射され、道路交通信号灯器の色が明るく明確に見えること、
3. 点灯したときと非点灯したときの道路交通信号灯器の明暗のコントラストが顕著でかつ点灯した色が一目で識別できること。

以上の条件を満足するための設計を行うこととした。

まず、遮光板の形状について、渦上スリットでは道路交通信号灯器の色むらが生じるので、遮光板の形状を薄い帯状のスリットにし、球同士の間隙部に水平方向に配置することで、道路交通信号灯器の色むらが消滅した。このことにより、デメリット面を軽減することができた。次の節で、多眼球レンズ板の光線軌跡を求めシミュレーション結果と実際に見えている状態を示す。

## 2.2 多眼球レンズユニットの光線軌跡

図 2.1 は、球レンズに平行光線が入射している時の光線軌跡を示している。2.1 節で述べたように透過した光線は、急角度で屈折し至近距離において収束する。そして、収束した光線は拡散している。

図 2.2 は、交通信号電球が点灯した時の光線軌跡を示している。このシミュレーション結果より、1 番目のレンズの透過光は収束した後拡散するが、ある適当な距離で、2 番目の球レンズに透過させると平行光線に戻ることがわかる。また、シミュレーションを行ったところ、直径が 7mm の球レンズを用いた時 2 番目の球レンズの透過光が平行光線に一番近

づくのは、レンズ間距離が 1.4mm の時であった。

図 2.3 は、35 度の角度で太陽光線が入射した時の光線軌跡を示している。このシミュレーション結果より、入射した太陽光線は遮光板で殆どが阻止される。したがって、疑似点灯現象が起きにくくなる。

図 2.4, 図 2.5 は、レンズユニットを真正面と斜めから見た写真である。真正面からは遮光板が現れていない。しかし、斜めから見た時は写真から明らかなように全体に遮光板が現れ、光の透過が起こりにくくなる。

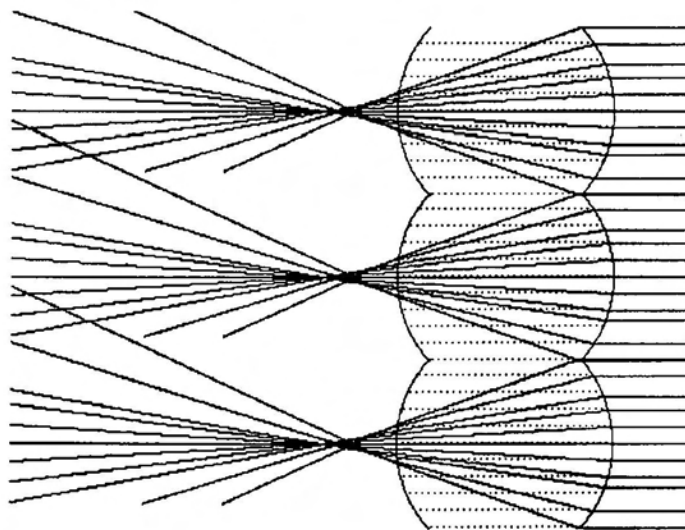


図 2.1: 球レンズの光線軌跡

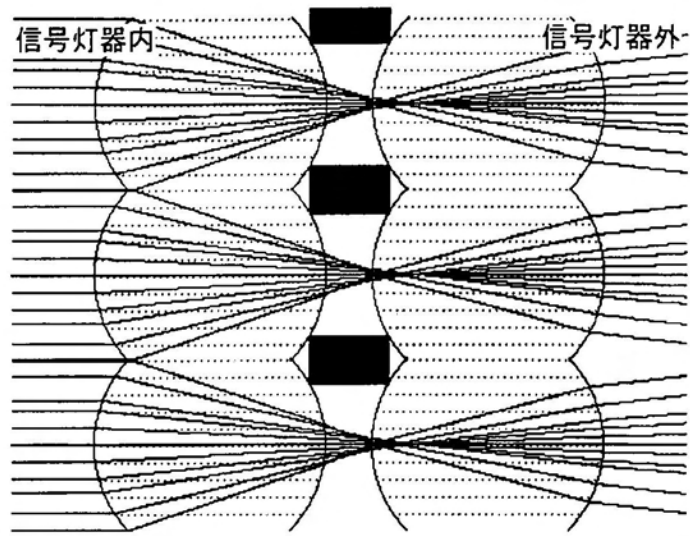


図 2.2: 交通用信号電球が点灯したときの光線軌跡

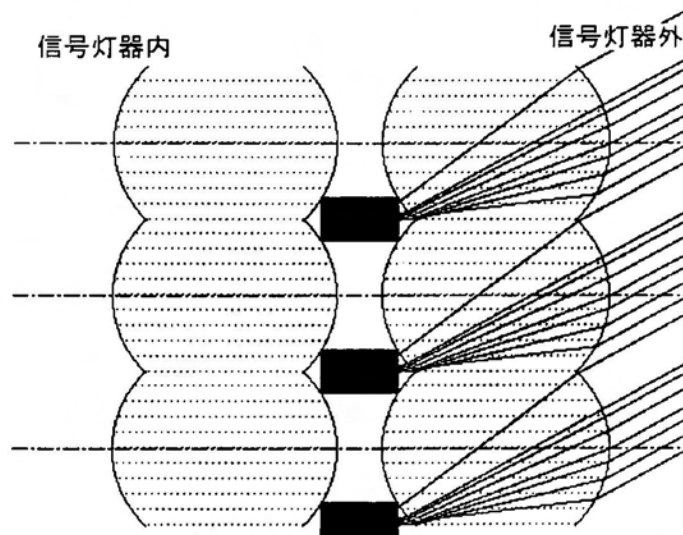


図 2.3: 太陽光線が入射したときの光線軌跡

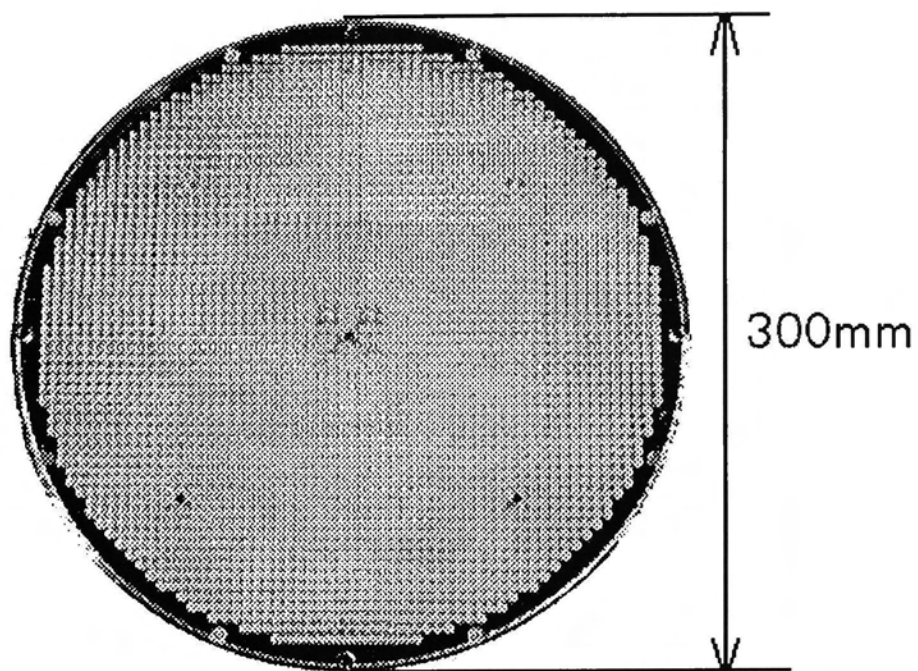


図 2.4: レンズユニットを真正面から見た写真

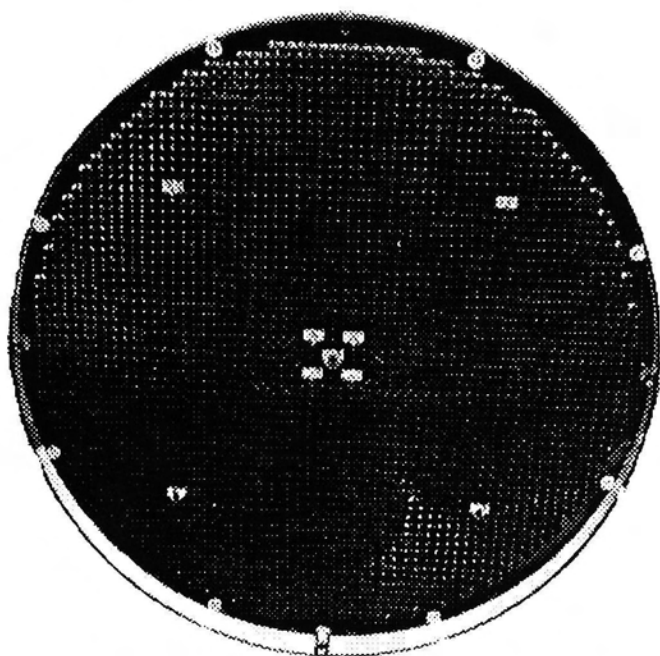


図 2.5: レンズユニットを斜めから見た写真

## 2.3 遮光板型レンズユニットの原理

図 2.6 は、道路交通信号灯器の断面図(単位:mm)である。

本体は、端子板、配線を含んだ筐体、庇(Visor)とランプユニットで構成されている。これらは、金属製車両用交通信号灯器仕様書を満足している。ランプユニットは、反射鏡、色レンズ、遮光板型レンズユニット、交通信号用電球(TS70R)とソケットで構成されている。これらは遮光板型レンズユニット以外、疑似点灯防止型レンズユニット仕様書を満足している。

仕様書において遮光レンズ形状は渦上スリットとなっているが、設計した遮光板型レンズユニットは、帯状のスリットになっている。したがって、警視庁交通部交通課に承認を取って設計を行った。

### 2.3.1 遮光板型レンズユニット

設置基準により道路交通信号灯器の高さは 5.5m、通常の運転手の視認確認最短距離は 14.5m である。一般的な運転手の目の高さは、地面より 1.1m に位置している。そのときの道路交通信号灯器を見た場合、仰角は 16.88 度となる。道路交通法による視認距離 150m の場合は 1.68 度となる。(図 2.8 参照)

図 2.6, 図 2.7 に示すように遮光板型レンズユニットを、2.6 度の角度で取り付けることにより実際には 14.28 度となり、視認確認最短距離において遮光板型レンズユニットに水平面(主光軸上)の近くで道路交通信号灯器を見ることになる。道路交通法による視認距離 150m の場合は、-0.92 度であるのでほぼ水平面(主光軸上)で道路交通信号灯器を見ることになる。



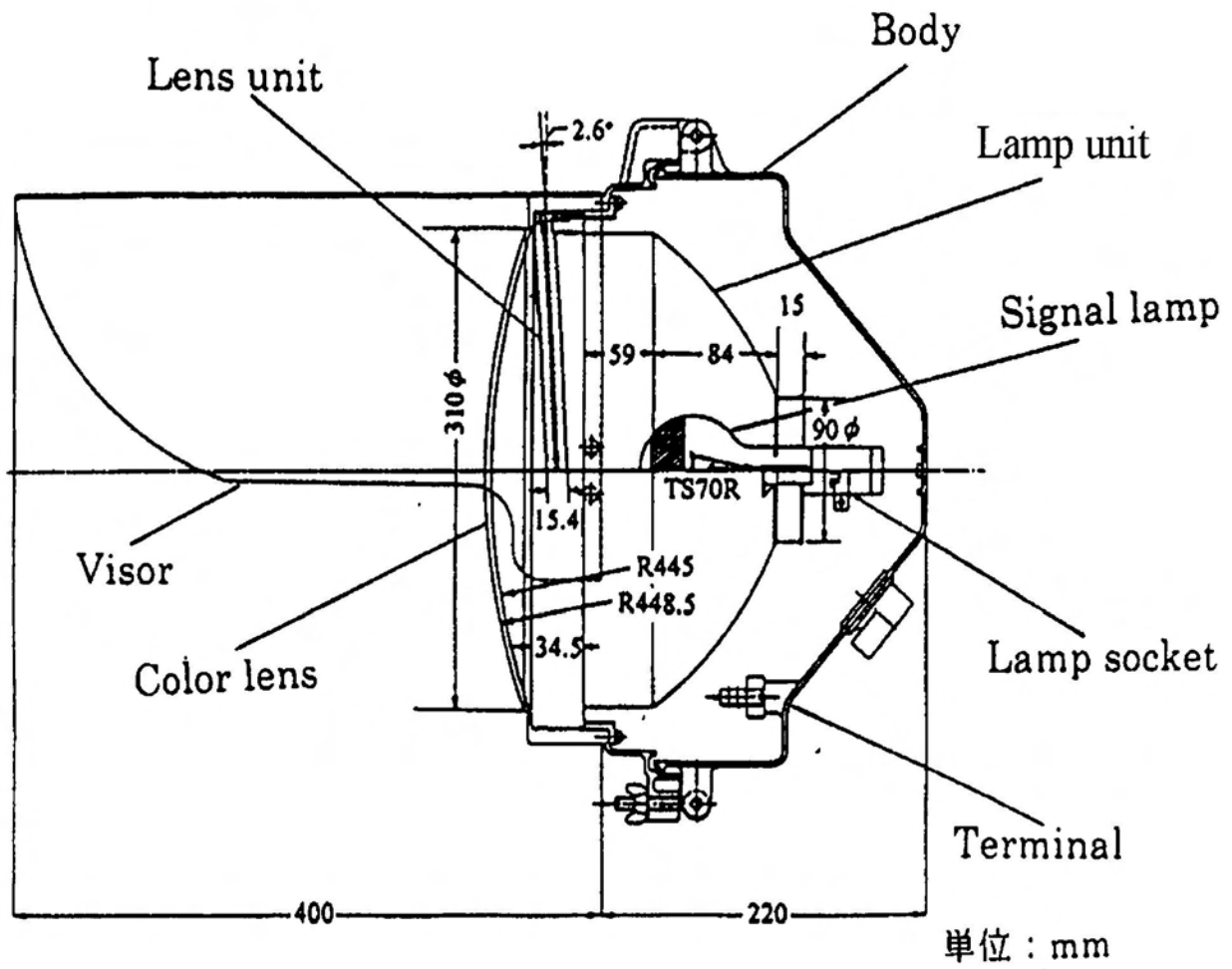


図 2.6: 道路交通信号灯器の断面図



図 2.7: 遮光板型道路交通信号灯器の断面写真 [寸法は図 2.6 参照]

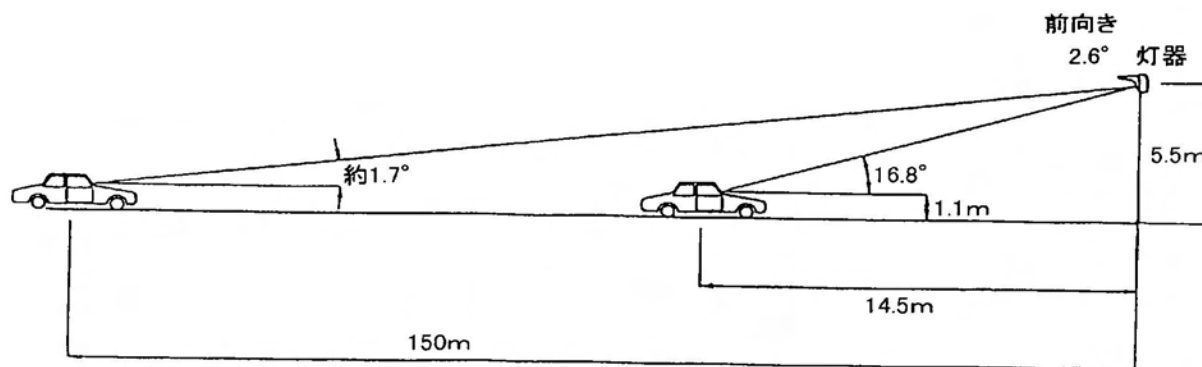


図 2.8: 視認距離と仰角

このとき、交通信号灯電球が非点灯時と点灯時の状態について考察を行う。

非点灯時のとき太陽光線は、庇によって上方 45 度以上の光線は遮られるが、それ以下の光線は、道路交通信号灯器の色レンズ面を照射することになる。よって、疑似点灯現象が生じるが、図 2.3 のシミュレーション結果からも 35 度 (レンズユニットが 2.6 度取り付けられているので、実際は 37.6 度) 以上の太陽光線は、遮光板で遮られるがそれ以下になると遮光板だけでは防げない。このときは、多眼球レンズ板が遮光性能を上げている。遮光板の間を抜けた太陽光線は、焦点を結んだ後ある角度持って電球側の多眼球レンズ板に入射する。多眼球レンズ板を射出した時はさらに発散される。灯器内で発散された太陽光線は、凹面の反射鏡でさらにさまざまな方向に反射される。この反射された太陽光線の一部は、再び電球側の多眼球レンズ板に入射する。その内の一部は遮光板で遮断される。残りの一部の太陽光線は、遮光板を抜けて色レンズ側の多眼球レンズ板を抜けて外部に出る。

しかし、太陽光線は入射した後、電球側の多眼球レンズ板、反射鏡、遮光板、色レンズ側の多眼球レンズ板で拡散されるため、射出された太陽光線は明るさを殆ど認められない。

点灯時のとき、太陽光線は非点灯時と同じ理由で拡散されるため影響を受けない。図 2.2 のシミュレーション結果より、平行光線がレンズの主光軸に入射されると、遮光板の影響を受けずに射出することを示した。電球は一般的に点光源として扱われるため平行光線ではないが、交通信号灯電球の構造、反射鏡の形態と多眼レンズ板の取り付け角度で平行光線として扱える。

交通信号用電球の構造は、二重コイルのフィラメントで構成され、点光源の集合した形となっている。さらに、ガラスバルブ球面内は酸化シリカ付着による、つや消し構造となっ

ている。このため、交通信号電球による光は、ガラスバルブから出る時は酸化シリカ粒子により、凹面反射鏡に向かう光と直接多眼レンズ板に向かう光に分けられる。図2.9に示すように、多眼球レンズ板より79.5mmの位置にあるフィラメントから放出された光は、反射鏡で反射され平行光線と変化している。従って、運転手には点灯状態がはっきりと示されることになる。

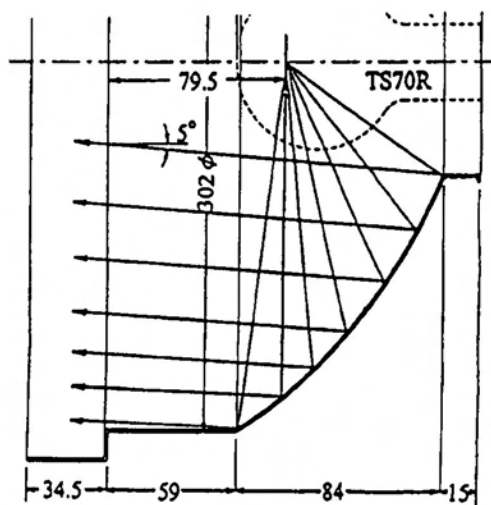


図 2.9: 反射鏡で反射された光 (単位:mm)

## 2.4 遮光板型レンズユニットの構造

図 2.10 は遮光板型レンズユニットの断面図である。遮光板の形状が違うのは、底により、入射する太陽光度が異なるためである。

図 2.11, 図 2.12 は遮光板型レンズユニットの断面写真である。

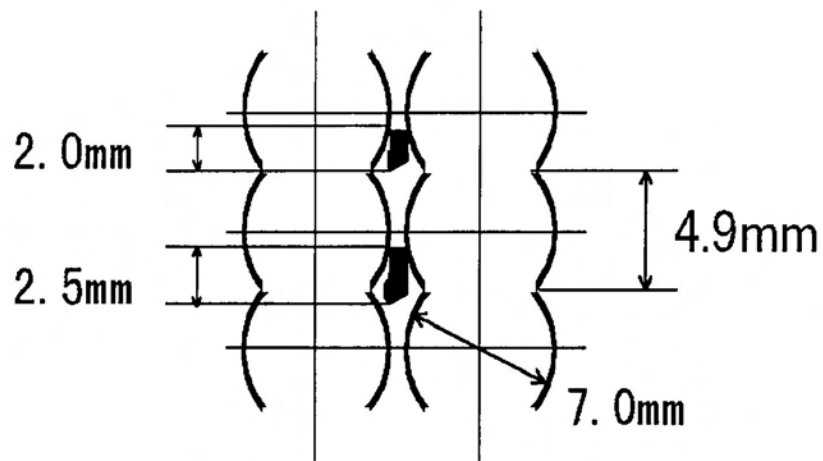


図 2.10: 遮光板型レンズユニット断面図

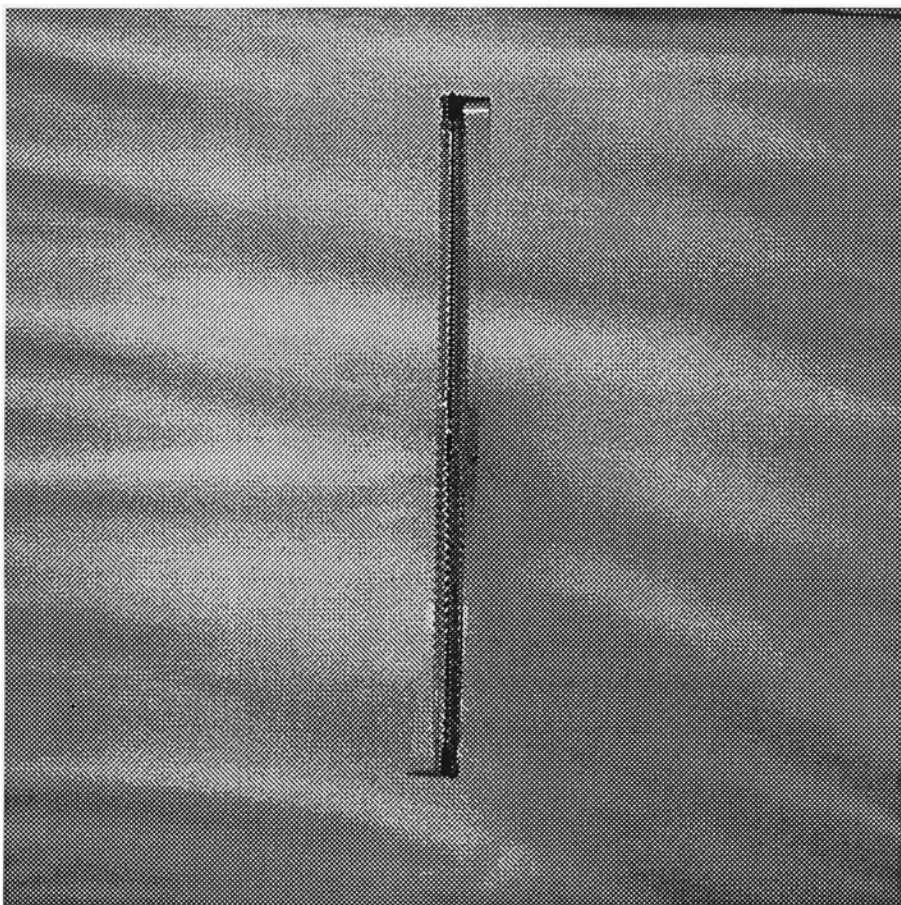


図 2.11: 遮光板型レンズユニット断面写真 (全体) 直径  $\phi = 300\text{mm}$

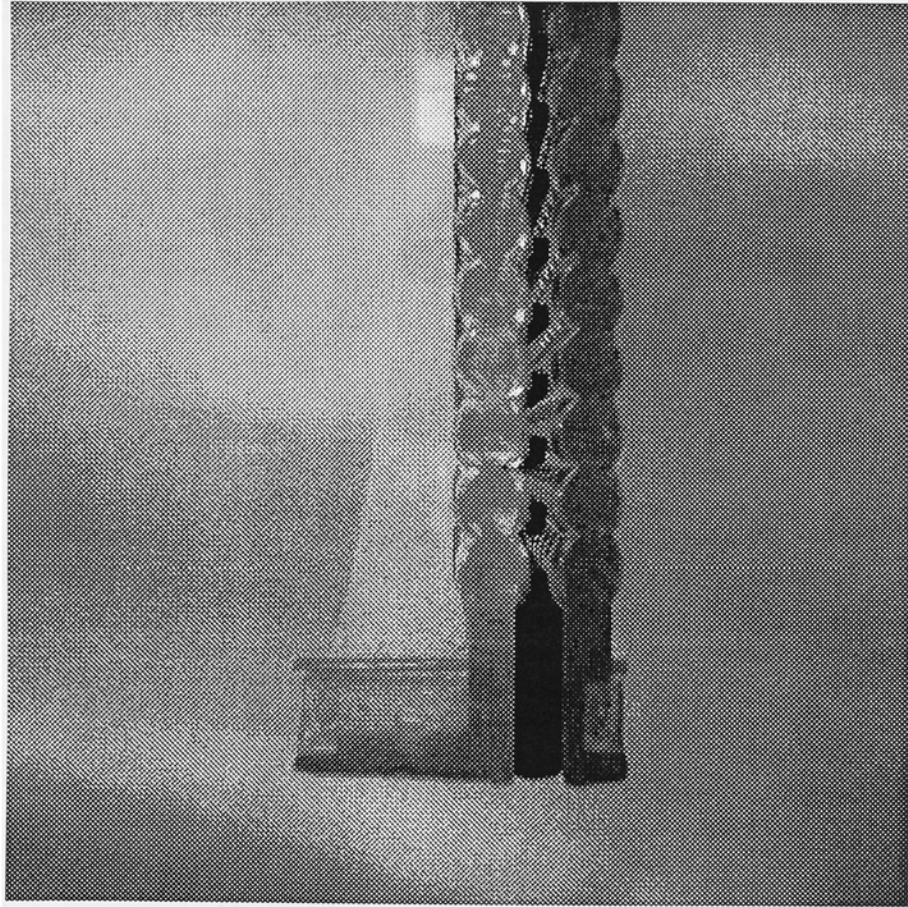


図 2.12: 遮光板型レンズユニット断面写真 (一部拡大)[寸法は図 2.10 参照]

図 2.13 は遮光板のパターンを示す (直径  $\phi=300\text{mm}$ ). 図 2.14 は遮光板型レンズユニットの外略図を示す.

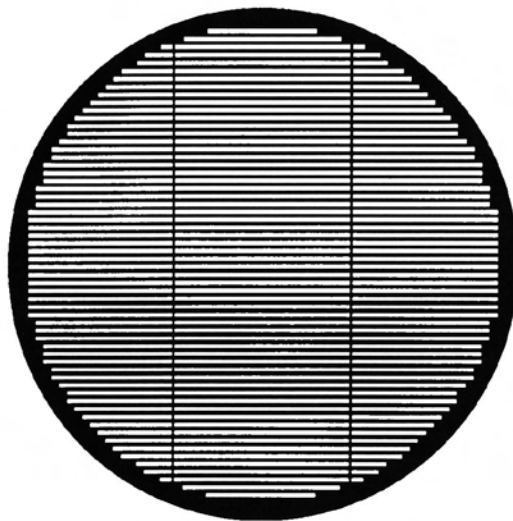


図 2.13: 遮光板のパターン

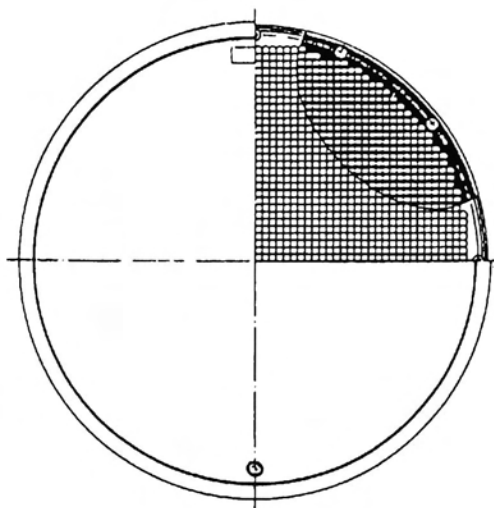


図 2.14: 遮光板レンズユニットの外略図



## 2.5 遮光板型レンズユニットの総合特性

### 2.5.1 実験方法

実験は、警視庁の定める警管仕第4号に基づいて、輝度均斉度、光度と遮光性能の測定を行った。

#### 2.5.1.1 輝度均斉度

交通信号用電球 (TS70R) を点灯したときの輝度均斉度の測定を行う。図 2.15 に示すように輝度計を主光軸に設置し、測定距離は輝度計 (トプコン BM-7) の視野の寸法がレンズ表面上で  $50 \phi \text{ mm} \pm 10$  になるように設置する。輝度計を左右方向、上下方向に振って図 2.16 の各点を測定した時 5 対 1 以下であること。

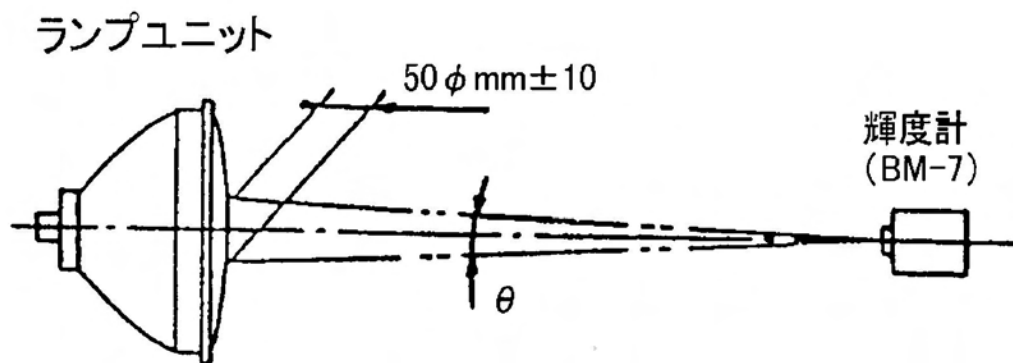


図 2.15: 輝度均斉度の測定

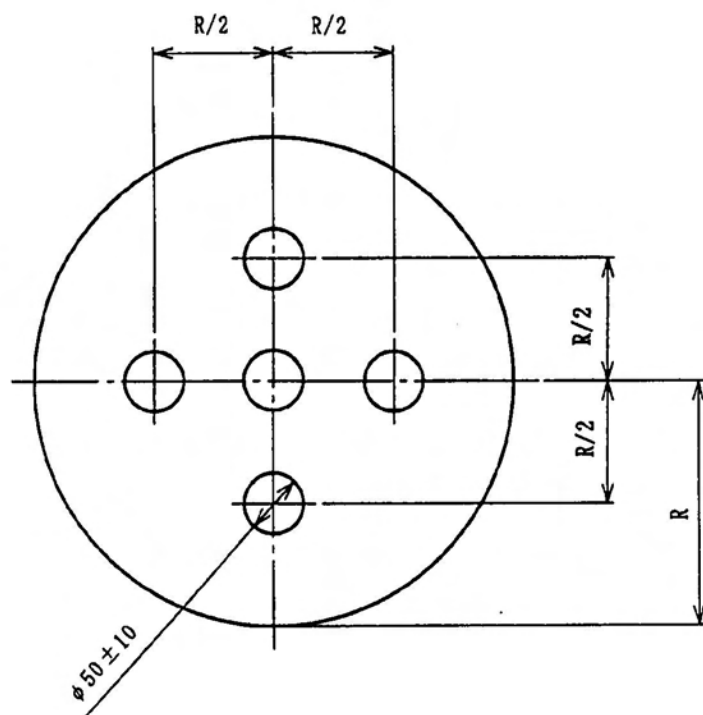


图 2.16: 輝度測定点 ( $R=150\text{mm}$ )

### 2.5.1.2 光度特性

光度は図 2.17 に示すように、交通信号用電球を点灯したときフィラメントから 10m 前方の距離に輝度計を設置して測定する。主光軸を 0 度とし警交仕規第 23 号 [版 2] 総合特性の測定点を図 2.18 の測定方向に主光軸を 0 度として下方方向に -40 度まで、各角度で左右方向に ±40 度ずつ輝度計で測定して光度に換算する。

なお、縦方向 0 度より上方の光は道路上の視認性には必要性が無い。縦方向 0 度の左右 20 度以上の光度については灯器の真横方向になり、道路幅上の視認点から外れるため規定されていない。このため測定を行っていない。

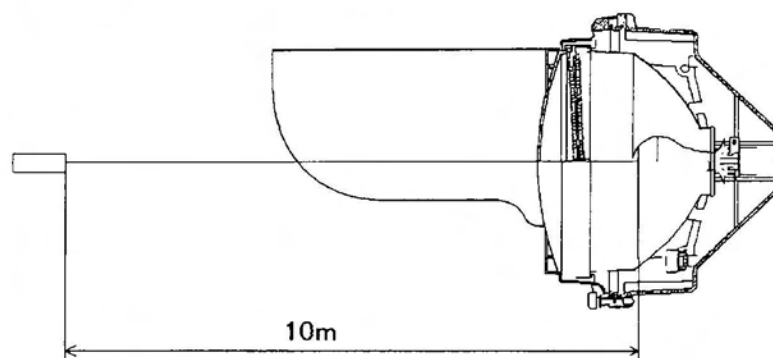


図 2.17: 光度測定

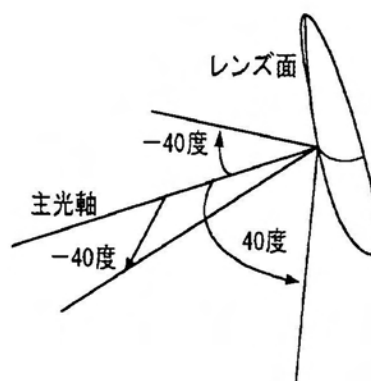


図 2.18: 測定方向

## 2.5.2 実験結果および考察

### 2.5.2.1 輝度均斉度

図 2.15 に示す  $50 \phi \pm 10\text{mm}$  となる距離は  $2.43\text{m}$  で、視野角は  $1$  度であった。そのとき図 2.19 の 5 点を測定した。図 2.19 に輝度測定順番を、表 2.1 に結果を示す。

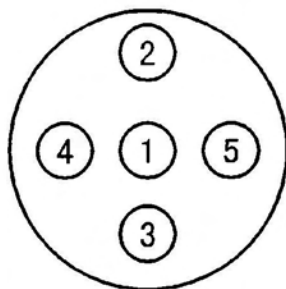


図 2.19: 輝度測定順番

表 2.1: 輝度均斉度

		1	2	3	4	5
青色	測定値 [ $\text{cd}/\text{m}^2 \times 10^4$ ]	0.248	0.732	0.702	0.929	1.222
	対最小の比	1.000	2.952	2.831	3.746	4.927
黄色	測定値 [ $\text{cd}/\text{m}^2 \times 10^4$ ]	0.643	1.486	1.853	1.957	2.026
	対最小の比	1.000	2.311	2.881	3.044	3.151
赤色	測定値 [ $\text{cd}/\text{m}^2 \times 10^4$ ]	0.227	0.520	0.574	0.544	1.063
	対最小の比	1.000	2.291	2.529	2.396	4.683

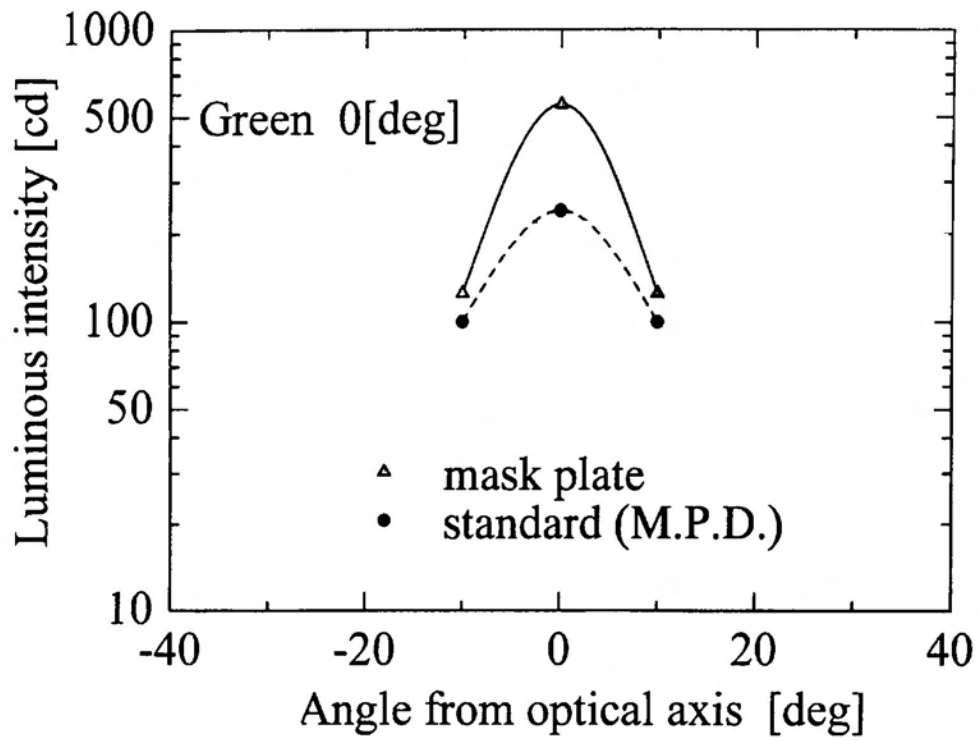
図 2.19 のレンズ表面上 5 点を測定し、警交仕規第 23 号 [版 2] で示されている輝度均斉度は、輝度の最小と最大の比が 5 対 1 以下であればよい。輝度の最小と最大の比率は、最大で 4.93、最小で 3.15 である。輝度均斉度は満足している。

### 2.5.2.2 光度測定

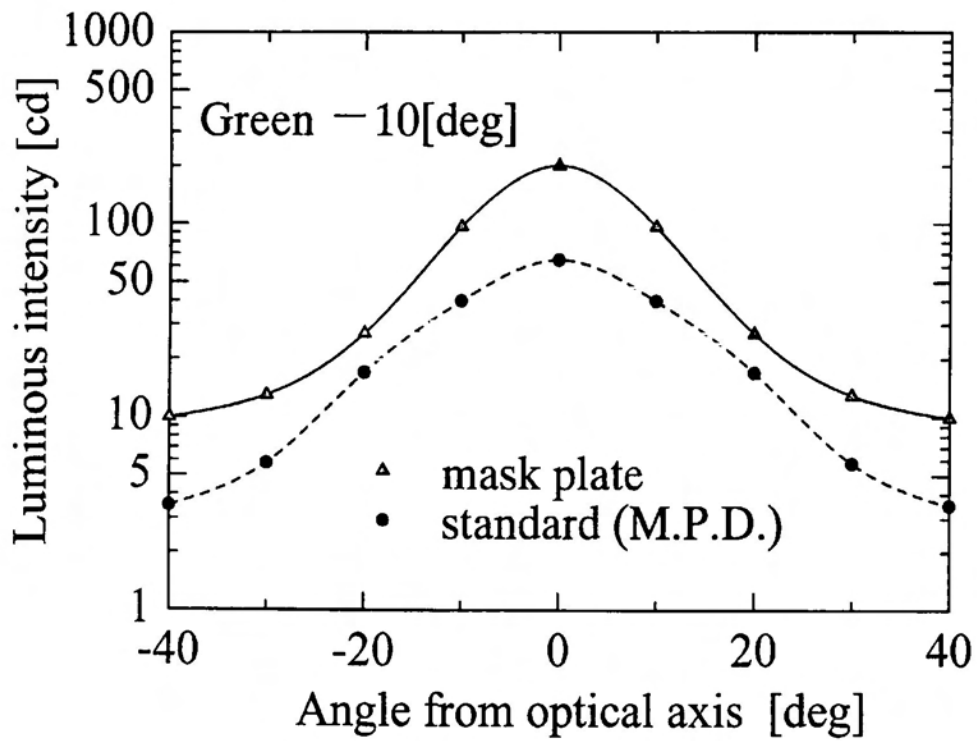
光度測定は、図 2.17 に示したようにフィラメントから 10m 前方主光軸上に輝度計を設置し、図 2.18 に示したように下方向を - とし、- 10 度ずつ最大 - 40 度まで測定する。そのとき左方向を -、右方向を + とし、10 度ずつ - 40 度から 40 度まで測定した。

その時の光度分布は図 2.20 (青)、図 2.21 (黄) そして図 2.22 (赤) として示している。それぞれの図において「standard(M.P.A.)」は警管仕第 4 号、「mask plate」は遮光板型レンズユニットのそれぞれの光度を表している。各図 (a), (b), (c), (d) は光軸から縦方向の配光角 0 度、- 10 度、- 20 度と - 30 度の測定結果で、遮光板型レンズユニットは警管仕第 4 号の光度表を十分に満足している。図 2.21(e) も十分に満足している。

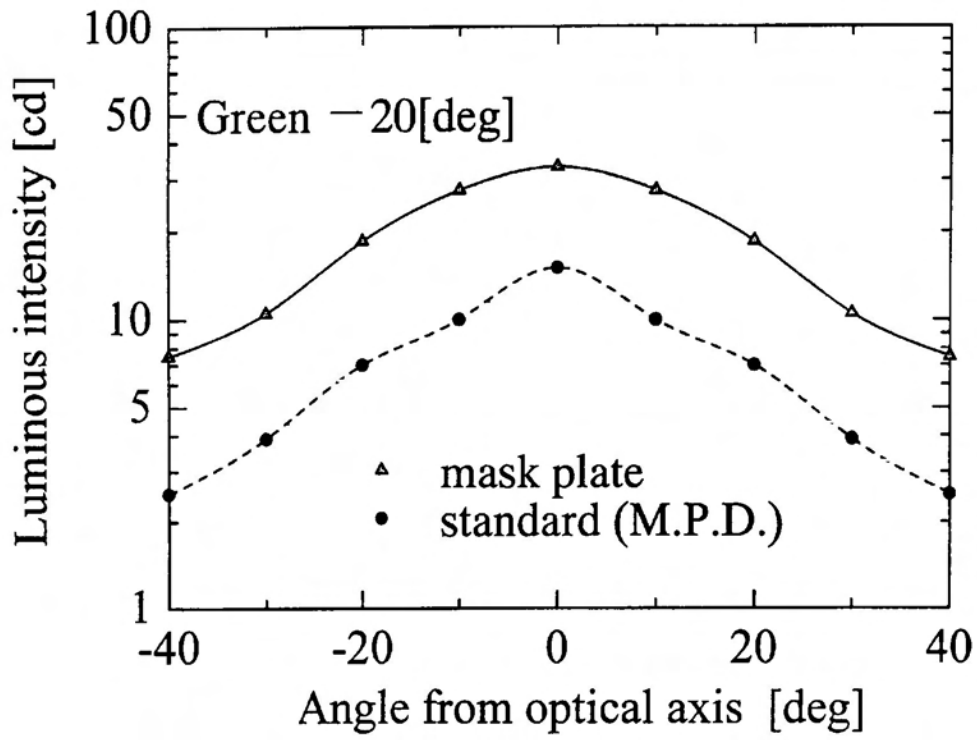
次に、図 2.20 (青) と図 2.22 (赤) の図 (e) は光軸から縦方向の配光角 - 40 度の測定結果である。遮光板型レンズユニットは、警管仕第 4 号の光度とほぼ同程度であり満足している。



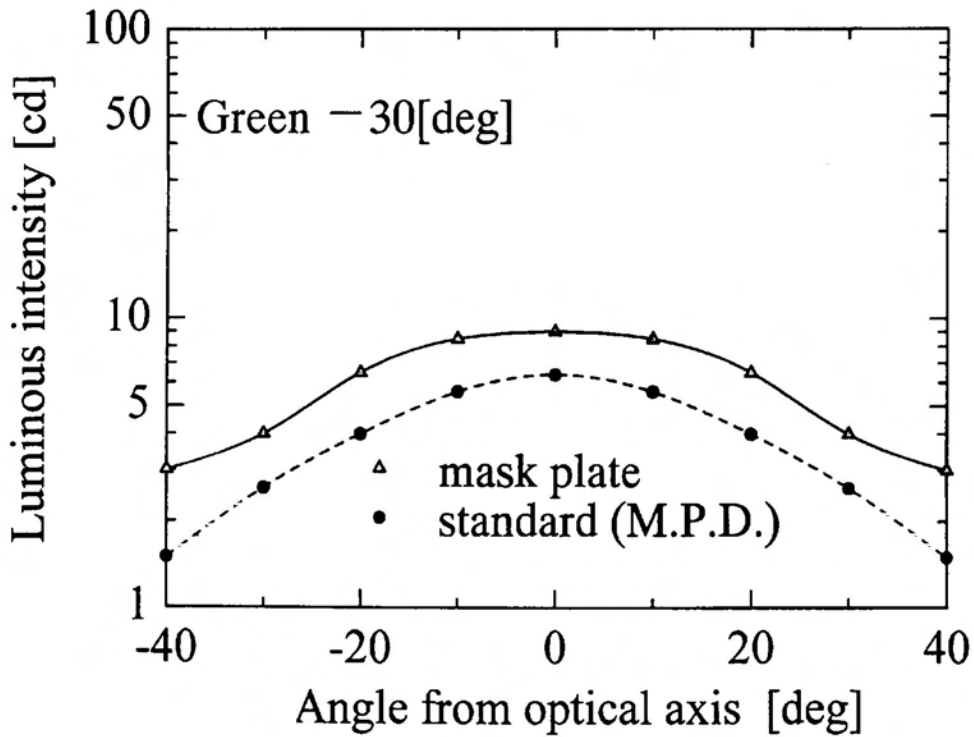
(a) 光軸からの配光角 (0度)



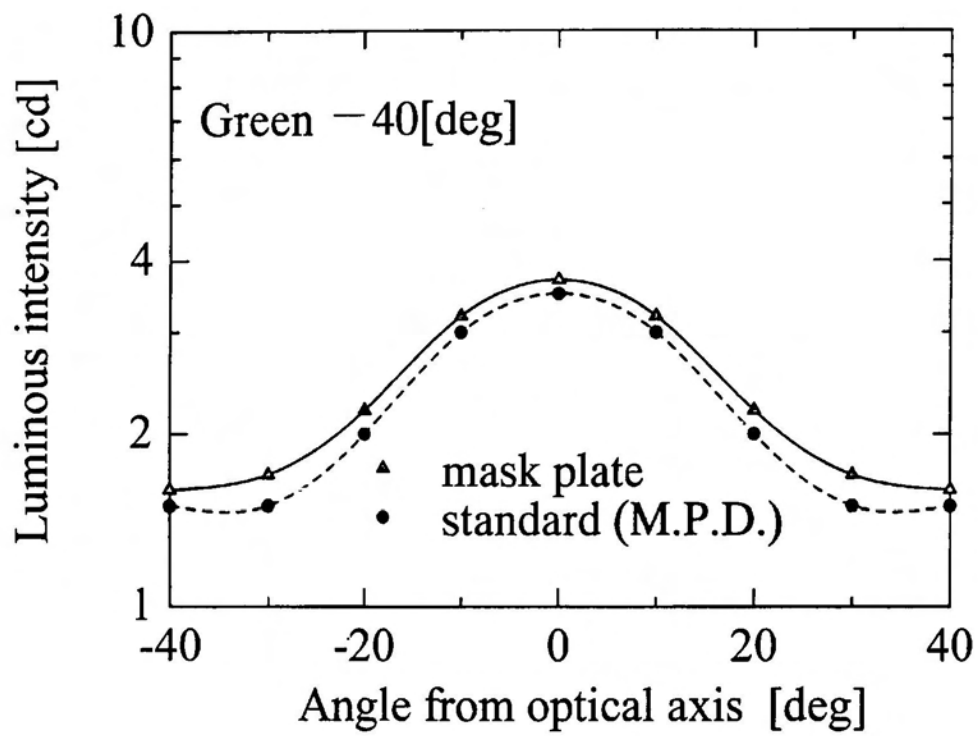
(b) 光軸からの配光角 (-10度)



(c) 光軸からの配光角 (-20 度)



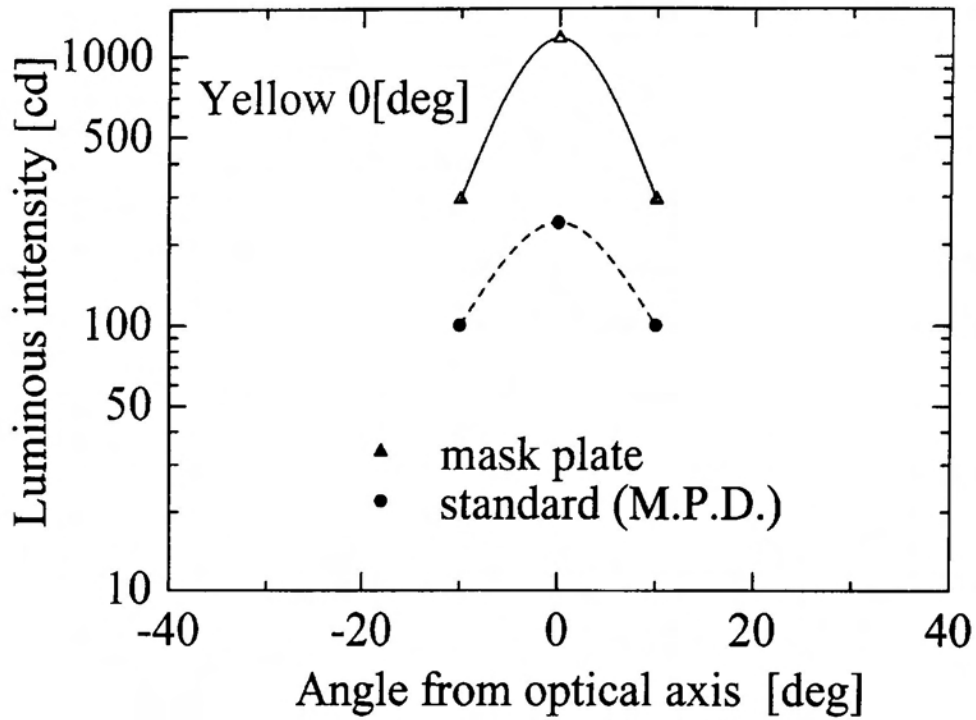
(d) 光軸からの配光角 (-30 度)



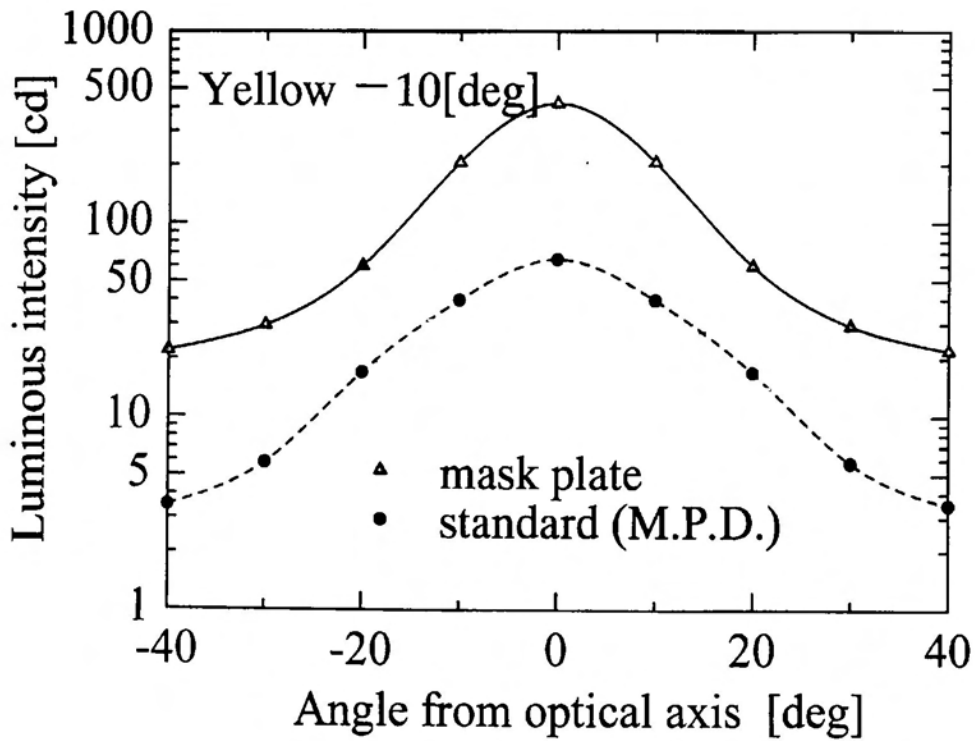
(e) 光軸からの配光角 (-40 度)

図 2.20: 光度分布 (青色)

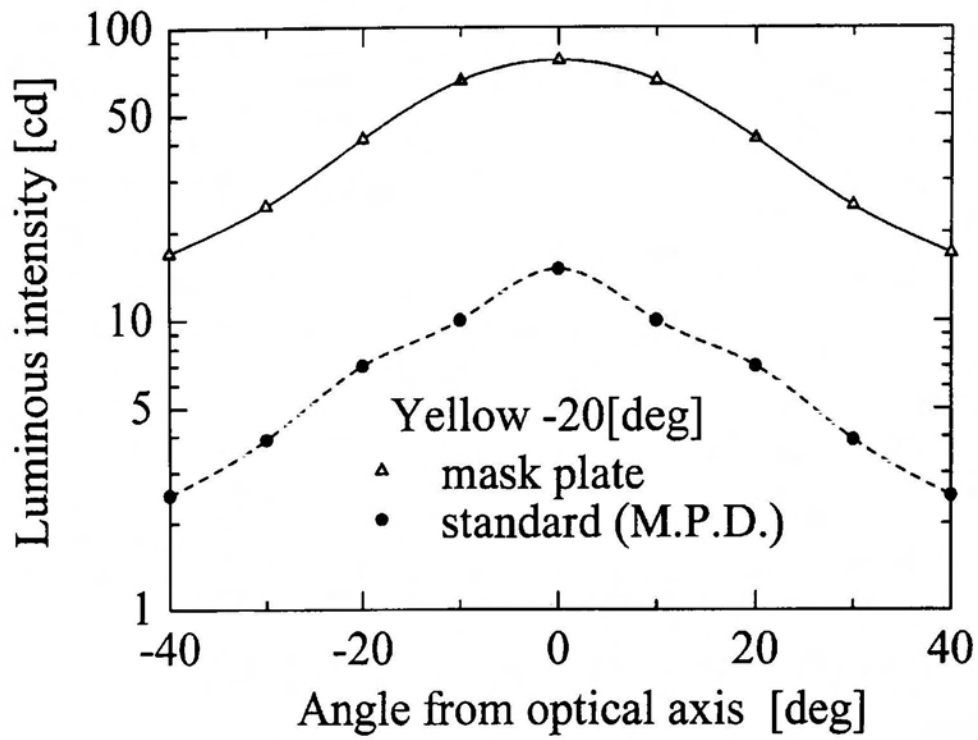




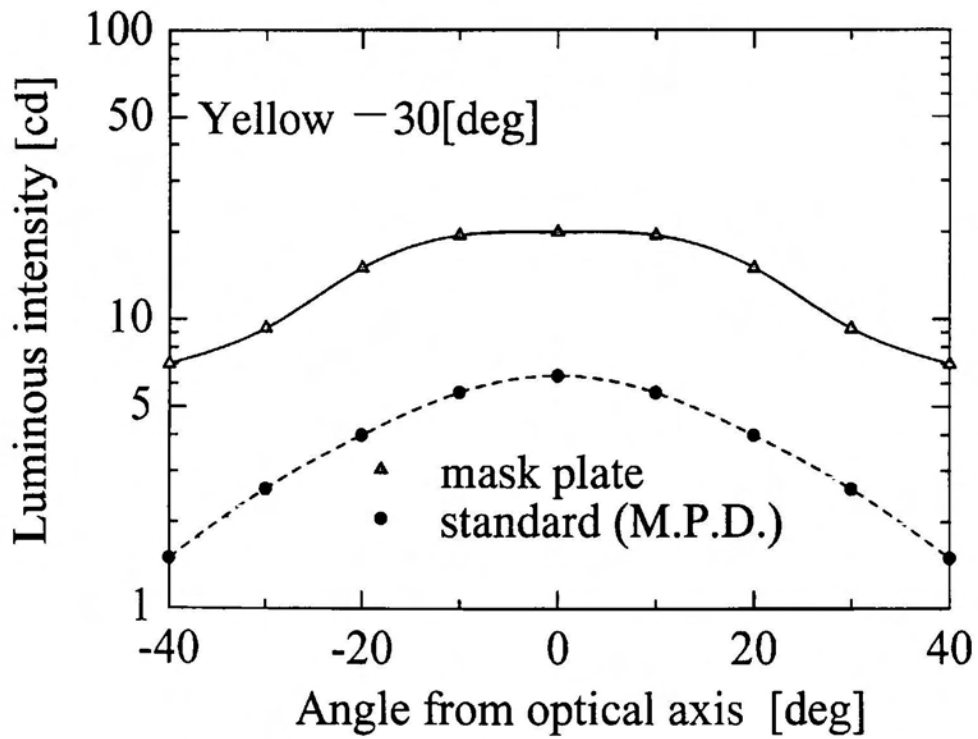
(a) 光軸からの配光角 (0度)



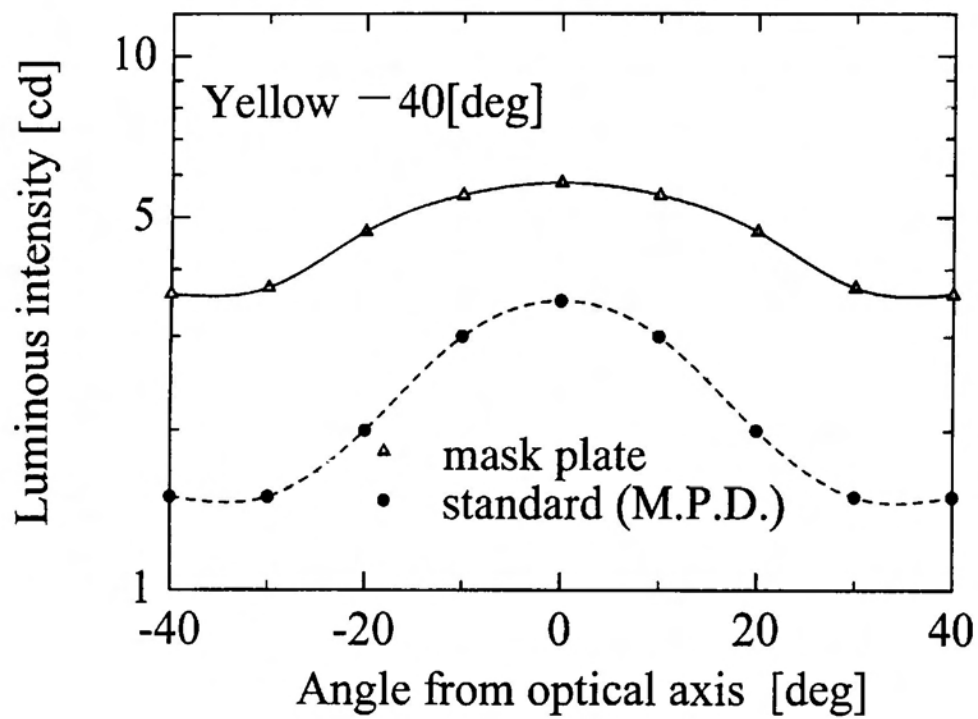
(b) 光軸からの配光角 (-10度)



(c) 光軸からの配光角 (-20 度)

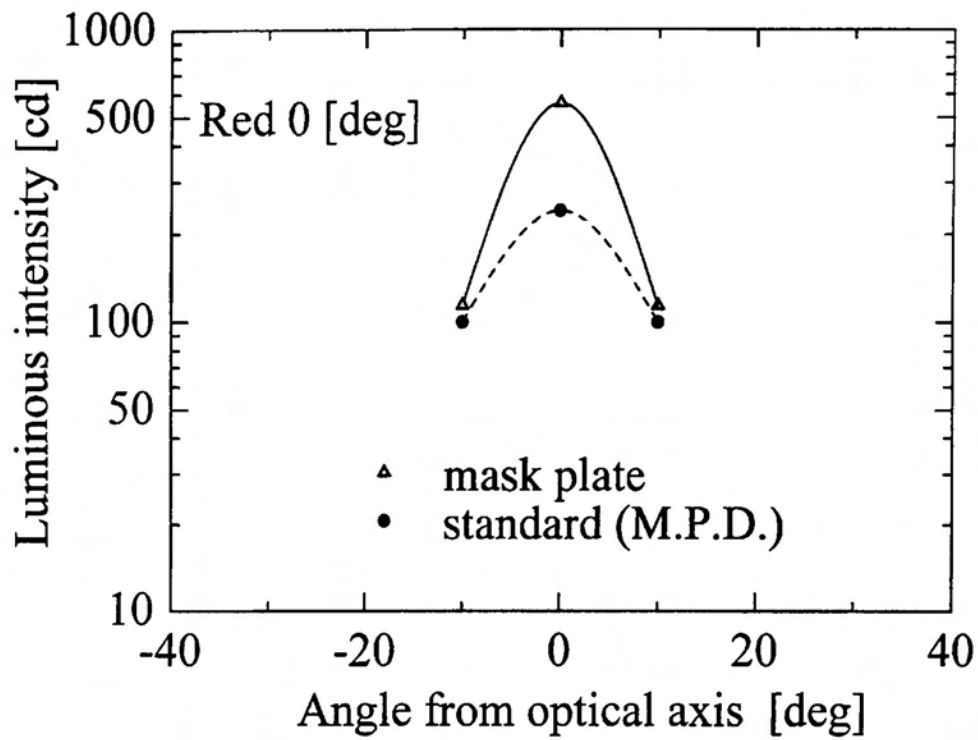


(d) 光軸からの配光角 (-30 度)

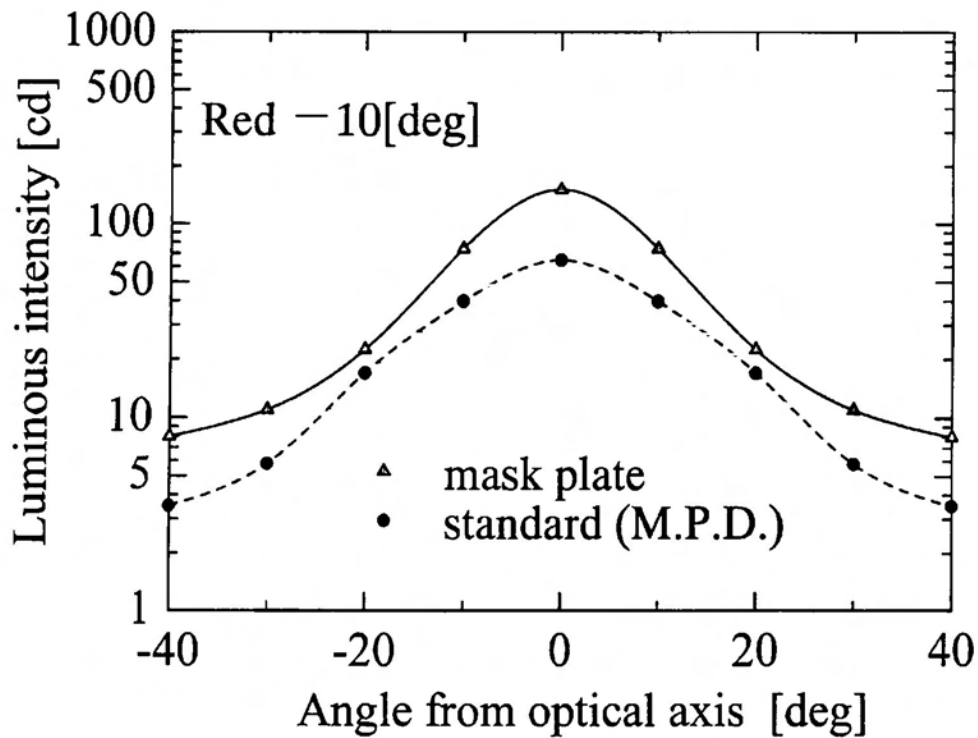


(e) 光軸からの配光角 (-40 度)

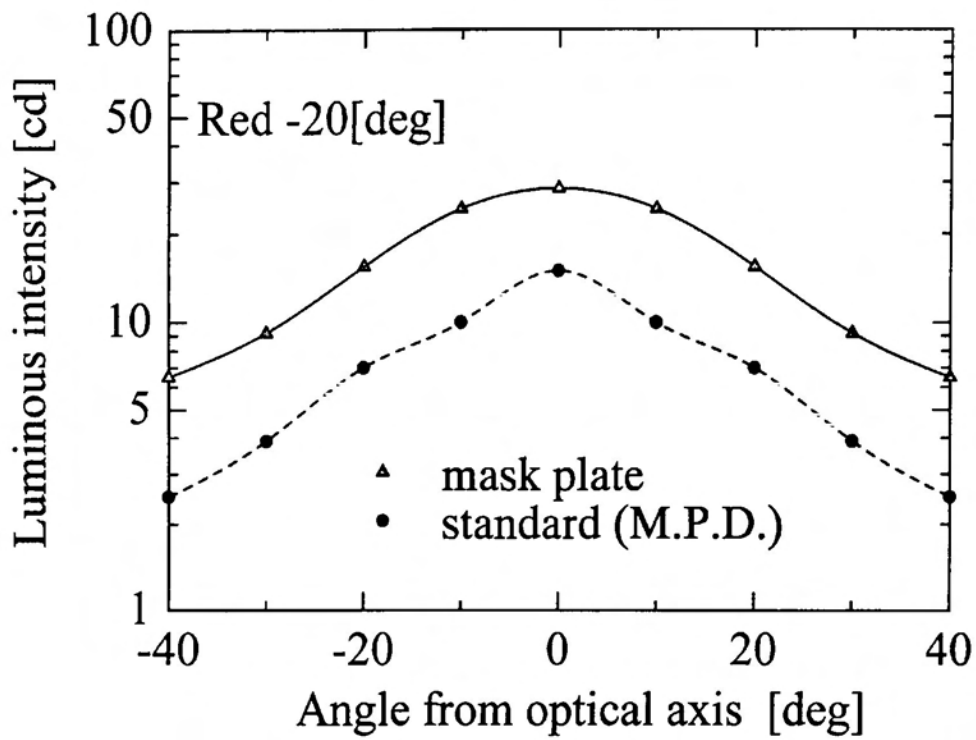
図 2.21: 光度分布 (黄色)



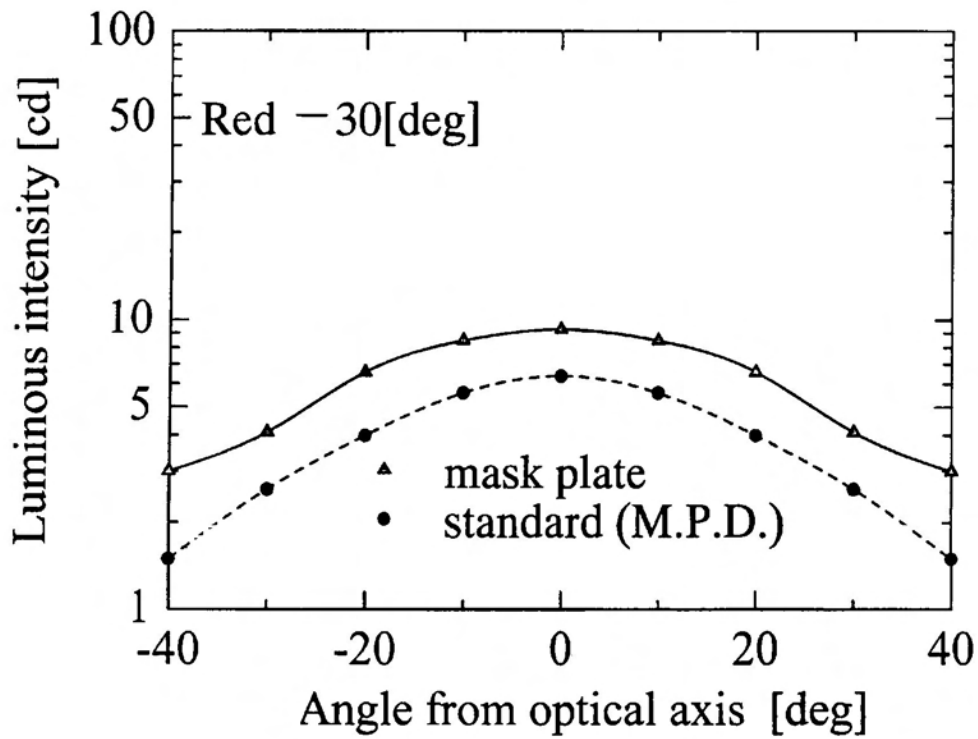
(a) 光軸からの配光角 (0度)



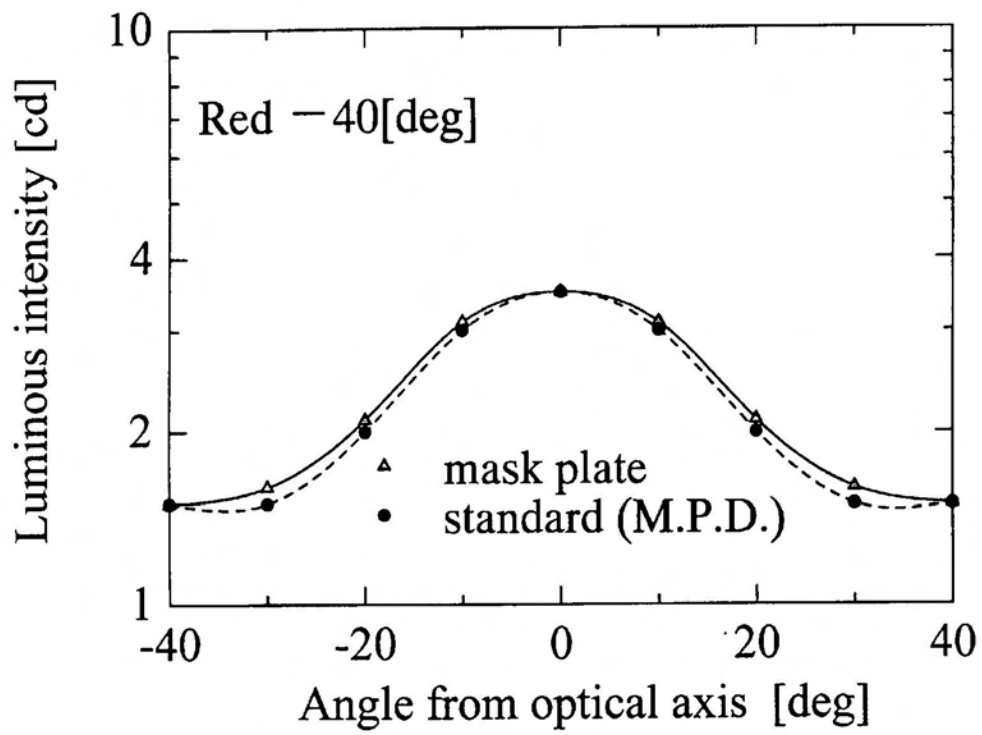
(b) 光軸からの配光角 (-10度)



(c) 光軸からの配光角 (-20 度)



(d) 光軸からの配光角 (-30 度)



(e) 光軸からの配光角 (-40 度)

図 2.22: 光度分布 (赤色)

### 2.5.3 太陽光ファントム比

太陽光ファントム比を求めるために、ランプユニットを90度回転させて水平に傾倒し中心軸から上方10度、距離3mの位置から投光器 (JP100V500WC/SB6V/N/E) を太陽光度10度に設定し、点灯・非点灯時の輝度を5度、-10度と15度、距離8.5mの位置で測定した。ただし、投光器の光源を含まないようにカラーフィルタの表面に直径45mmの円形ブラインドを付けている。

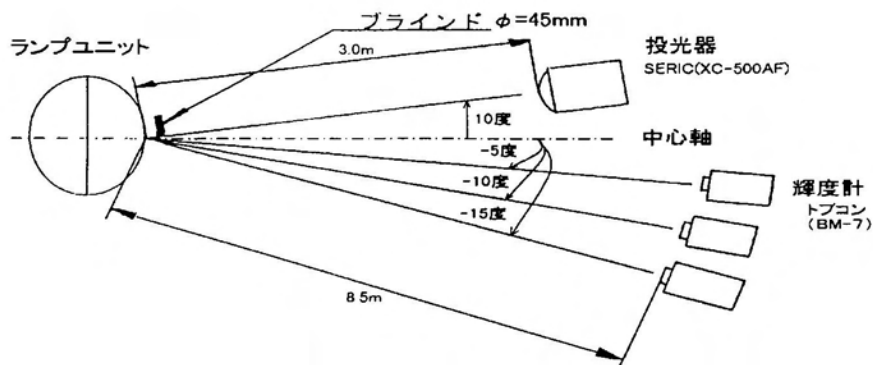


図 2.23: 太陽光ファントム比測定方法

太陽光ファントム比は、以下の式を定義して求めた。疑似点灯現象が起こる時の太陽高度は10度から15度で、その時の太陽光照度は40000[lx]、投光器照度  $E_{L-eff}$  は11000[lx]で、投光器照度で太陽光照度を規格化し係数とする。非点灯状態の測定輝度  $L_{1(off)}$  に係数をかけて分母とし、疑似点灯現象が生じている輝度とする。また、分子は点灯状態の測定輝度  $L_{1(on)}$  に疑似点灯現象が生じている輝度を足すことにより、点灯時の疑似点灯状態の輝度として扱う。従って、太陽光ファントム比が大きいほど疑似点灯状態が起こっていないことになる。

$$\frac{L_{1(on)} + L_{1(off)} \times (40000/E_{L-eff})}{L_{1(off)} \times (40000/E_{L-eff})} \quad (2.1)$$

図 2.24 に太陽光ファントム比を示す。この結果より -5度の時で最大5倍、-10度の時で最大4倍、15度の時で最大2.7倍、疑似点灯防止を施していない道路交通信号灯器より疑似点灯状態が起こっていないことになる。その時の状態を図 2.25、図 2.26、図 2.27、図 2.28 に示す。

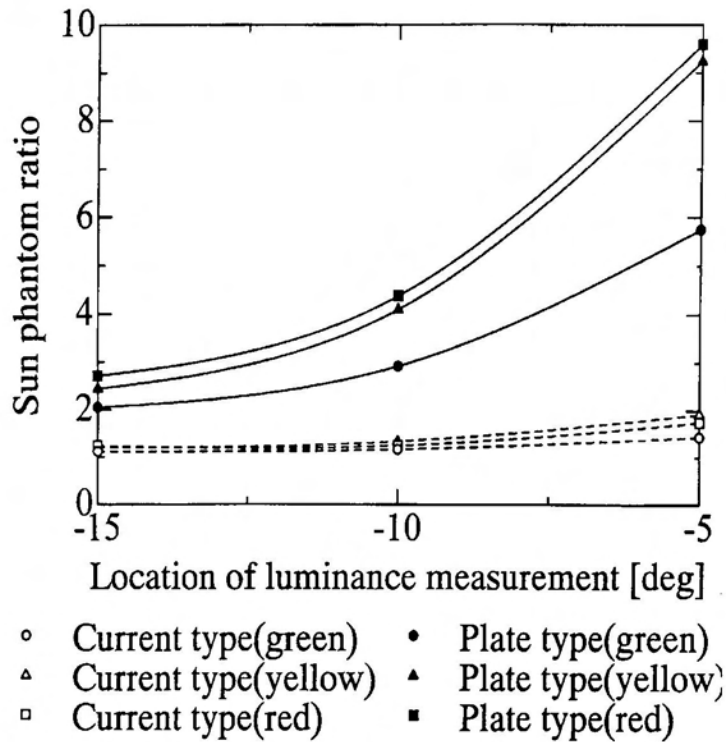


図 2.24: 太陽光ファントム比

図 2.25, 図 2.26, 図 2.27, 図 2.28 は, 1999 年 5 月 20 日に太陽光度が 10 度から 15 度のとき, 信号灯表面を太陽光が  $40,000[lx]$  で照射しているときの写真を示す. 左側が遮光板型レンズユニットを装着した道路交通信号灯器で, 右側が疑似点灯防止を行っていない従来の道路交通信号灯器である.

図 2.25 は, 非点灯状態である. 従来型の道路交通信号灯器は, 疑似点灯現象が起こり全色点灯しているように見える. しかし, 遮光板型レンズユニットを装着した道路交通信号灯器は, 太陽が光の点として一部分が少し光っているが疑似点灯現象は起きていないので暗黒色に見えている.

図 2.26, 図 2.27, 図 2.28 は, それぞれ赤色点灯, 黄色点灯, 青色点灯の状態を示している. 右側の従来の道路交通信号灯器 (2) は, 疑似点灯現象で明暗のコントラストの違いが現れず, 点灯色の識別は困難である. しかし, 遮光板型レンズユニットを装着した道路交通信号灯器 (1) は, 点灯色と非点灯色の明暗が顕著に現れ, 点灯色が一目で識別できる.



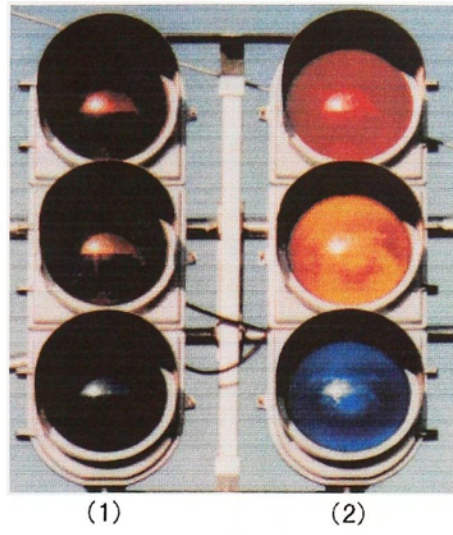


図 2.25: 非点灯

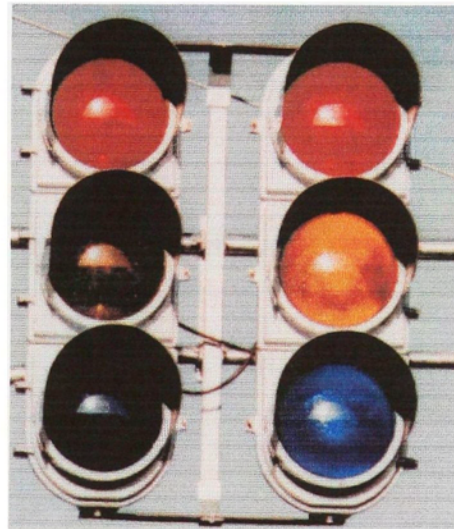


図 2.26: 赤色点灯

(1):遮光板型道路交通信号灯器

(2):疑似点灯防止の無い道路交通信号灯器

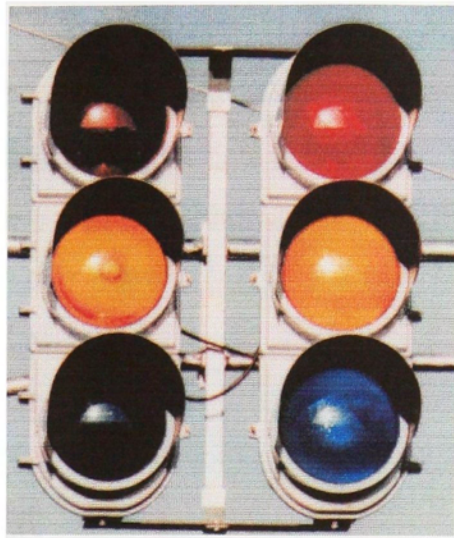


図 2.27: 黄色点灯

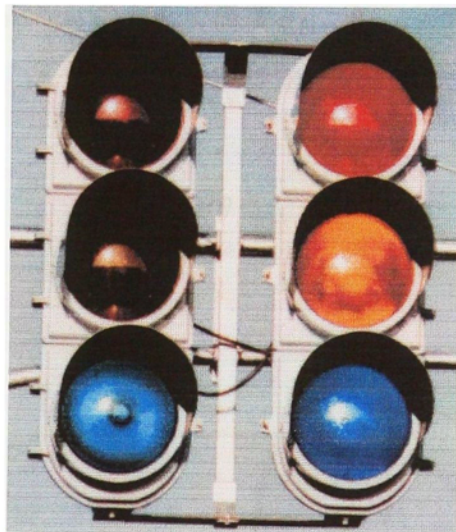


図 2.28: 青色点灯

(1):遮光板型道路交通信号灯器

(2):疑似点灯防止の無い道路交通信号灯器

## 2.6 伝熱特性

交通用信号電球の熱輻射における影響で、レンズユニットの形状が変化し、多眼球レンズ板の各焦点距離が変化し視認性が変化することが実験中に明らかになった。したがって、レンズユニットの熱特性を明らかにし、設計する上で考慮する必要がある。道路交通信号灯器の交通信号電球点灯時における熱放射伝達によるレンズユニットの温度変化の測定と解析を行なった。定常状態におけるレンズユニット内部から周囲温度に収束する様子をシミュレーションで明らかにした。

### 2.6.1 伝熱流体の基礎式

#### 2.6.1.1 伝熱流体の基礎式

一次元定常熱伝達 [37],[38]

板厚  $l$  の表面が熱伝達率  $\alpha_1, \alpha_2$  のもとで温度  $\theta_{f1}, \theta_{f2}$  の流体に接している場合の定常状態における熱伝導微分方程式は、図 2.29 の座標軸で示すと次式となる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{a}{\lambda} q_v. \quad (2.2)$$

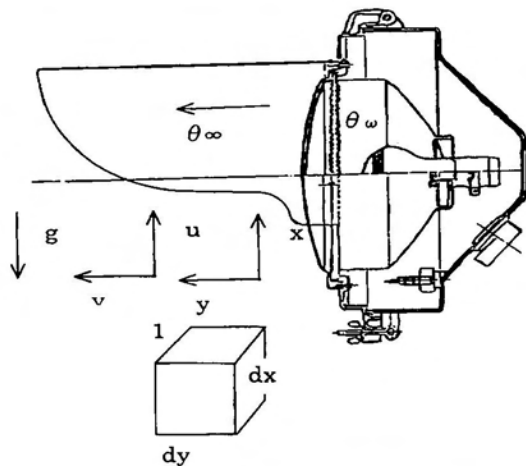


図 2.29: 道路交通信号灯器の座標軸

式(2.2)を次の境界条件のもとで解く。板厚 $\ell$ が $y = 0$ で熱伝達率 $\alpha_1$ で流体温度 $\theta_{f1}$ の流体に接している。また、 $y = \ell$ で熱伝達率 $\alpha_2$ で流体温度 $\theta_{f2}$ の流体に接している。すなわち、

$$\left[ \frac{d\theta}{dy} - \frac{\alpha_1}{\lambda}(\theta - \theta_{f1}) + \frac{q_s}{\lambda} \right]_{y=0} = 0. \quad (2.3)$$

$$\left[ \frac{d\theta}{dy} - \frac{\alpha_2}{\lambda}(\theta - \theta_{f2}) + \frac{q_s}{\lambda} \right]_{y=\ell} = 0. \quad (2.4)$$

よって、次式が求まる。

$$\theta = -\frac{\theta_{f1} - \theta_{f2}}{\lambda\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\ell}{\lambda}\right)}\left(y + \frac{\lambda}{\alpha_1}\right) + \theta_{f1}. \quad (2.5)$$

従って、板厚 $\ell$ の内部の温度変化を求めることができる。

### 自然対流 [39],[40]

一定温度に加熱された垂直平板において壁面温度を $\theta_w$ 、周囲温度を $\theta_\infty$ とすれば、壁面近くでは $y$ 方向に対して $\theta_w$ から $\theta_\infty$ まで漸近的に変化する温度分布が得られる。一方、重力の作用方向と反対の向きに生ずる浮力によって速度場が形成されるが、速度は流体の粘性のために壁面ではゼロであり、壁面からいくぶん離れた位置において最大値を示す分布となり、熱および運動量の交換が多く行われる場としての境界層領域が形成されることになる。また、壁に沿う $x$ 方向についてみた場合、板の前縁からある高さまでは層流境界層領域が形成され、さらに遷移域を経て乱流境界層領域となる。

図2.29に示すように、層流境界層内に微小要素 $dx \cdot dy \cdot 1$ を想定し、そこでの熱エネルギーおよび力と運動量を考えれば、連続の式、エネルギー式および運動量式の基礎式は次のようになる[39]。

$$\text{連続の式} \quad \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} = 0. \quad (2.6)$$

$$\text{エネルギー式} \quad \rho \cdot c_p \left( u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) = \lambda \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2}. \quad (2.7)$$

$$\text{運動量式} \quad \rho \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{\partial p}{\partial x} - \rho \cdot g. \quad (2.8)$$

上式中,  $(\partial p/\partial x)$  は微小要素の上下面の圧力差によって生じる力であり, 周囲の流体密度を  $\rho_\infty$  とすれば, 次式となる [40].

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \rho_\infty \cdot g. \quad (2.9)$$

基礎式を解く近似解法として自然対流の挙動を比較的容易に把握できる積分法で解く. この方法は, 境界層内の速度および温度の分布を多項式によって近似するものであり, その際に含まれる未知速度  $u_x$  と境界層厚さ  $\delta$  を基礎式の積分形から決定して, それぞれの分布を決めるものである. なお,  $\delta$  は平板に沿う位置  $x$  の関数であり, 自然対流では速度境界層厚さと温度境界層厚さとは等しいものとして扱う. 速度および温度の境界条件は, 図 2.29 の座標系で, 壁面  $y = 0$  と境界層の外端  $y = \delta$  のそれぞれの位置で次のようになる.

$y=0$  において

$$u = 0, \quad \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = -\frac{g\beta(\theta_w - \theta_\infty)}{\nu}, \quad \theta = \theta_w. \quad (2.10)$$

$y=\delta$  において

$$u = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial y} = 0, \quad \theta = \theta_w, \quad \frac{\partial \theta}{\partial y} = 0. \quad (2.11)$$

これらの境界条件を用い, 速度および温度の分布はそれぞれ次の 3 次および 2 次の多項式として表すことができる.

$$\frac{u}{u_x} = \frac{y}{\delta} \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2. \quad (2.12)$$

$$\frac{\theta - \theta_\infty}{\theta_w - \theta_\infty} = \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2. \quad (2.13)$$

ここに,  $u_x$  は位置  $x$  における代表速度であり,  $\delta$  とともに後に決定される. 一方, 基礎式 (2.6), (2.7) は境界層内の微小要素について得られたものであるが, 境界層の厚さ  $\delta$  をも含む広い範囲について, エネルギー量および運動量のバランスを考えると, それぞれ次の積分式表示となる.

$$\frac{d}{dx} \left[ \int_0^\delta u^2 dy \right] = -\nu \left( \frac{du}{dy} \right)_{y=0} + g\beta \int_0^\delta (\theta - \theta_\infty) dy \quad (2.14)$$

$$\frac{d}{dx} \left[ \int_0^\delta u(\theta - \theta_\infty) dy \right] = -a \left( \frac{d\theta}{dy} \right)_{y=0} \quad (2.15)$$

これらの式に、速度および温度の多項式 (2.12) および (2.13) を代入して積分を行えば、未知量  $u_x$  と  $\delta$  を含む次の 2 式を得る。

$$\frac{d}{dx} \left( \frac{u_x^2 \delta}{105} \right) = \frac{1}{3} g \beta (\theta_w - \theta_\infty) \delta - \nu \frac{u_x}{\delta}. \quad (2.16)$$

$$\frac{d}{dx} \left( \frac{(\theta_w - \theta_\infty u_x \delta)}{30} \right) = 2(\theta_w - \theta_\infty) \frac{a}{\delta}. \quad (2.17)$$

いま、 $u, y$  および  $\theta$  をそれぞれ、 $u_x$  および  $\theta_w$  程度の大きさとし、さらに連続の式から  $\nu$  は  $u_x \cdot \delta / x$  程度であるとすると、基礎式 (2.7) と (2.8) から  $u_x$  は  $x^{1/2}$  に比例し、また  $\delta$  は  $x^{1/4}$  に比例する量になる。これらを次のようにおくことにする。

$$u_x = c_1 x^{1/2}, \delta = c_2 x^{1/4}. \quad (2.18)$$

式 (2.18) を式 (2.16) および式 (2.17) に代入して微分を行えば、係数  $c_1$  と  $c_2$  は次のように得られる。

$$c_1 = 5.18 \nu (0.99 + \frac{\nu}{a})^{-1/2} \left\{ \frac{g \beta (\theta_w - \theta_\infty)}{\nu^2} \right\}^{1/2} \quad (2.19)$$

$$c_2 = 3.93 \left( \frac{\nu}{a} \right)^{-1/2} (0.99 + \frac{\nu}{a})^{1/4} \left\{ \frac{g \beta (\theta_w - \theta_\infty)}{\nu^2} \right\}^{-1/4} \quad (2.20)$$

ここで、速度  $u_x$  および境界層厚さ  $\delta$  を、プラントル数  $Pr = \nu/a$  で置き換えれば、式 (2.18) は次式となる。

$$u_x = 5.18 \nu (0.99 + Pr)^{-1/2} \left\{ \frac{g \beta (\theta_w - \theta_\infty)}{\nu^2} \right\}^{1/2} x^{1/2}. \quad (2.21)$$

$$\delta = 3.93 Pr^{-1/2} (0.99 + Pr)^{1/4} \left\{ \frac{g \beta (\theta_w - \theta_\infty)}{\nu^2} \right\}^{1/4} x^{1/4}. \quad (2.22)$$

これらの式を境界条件 (2.11) のもとで解くと、境界層内の速度および温度分布が求められる。

周囲温度  $\theta_\infty$  を一定あるいは壁面熱流束  $q_w$  を一定とし、壁面温度一定の場合には、グラスホフ数  $Gr$  とヌセルト数  $Nu$  は次式で定義される。

$$Gr = \frac{g \beta (\theta_w - \theta_\infty) x^3}{\nu^2}. \quad (2.23)$$

$$Nu = 0.52 (0.99 + Pr)^{1/2} Gr^{1/4}. \quad (2.24)$$

自然対流ではこれらの積  $Gr \times Pr$  が多く使用され、それをレイリー数  $Ra$  と名付けて使用する。

$$Ra = Gr \times Pr. \quad (2.25)$$

垂直面における境界層の発達には層流から乱流への遷移が生じているが、層流から乱流への遷移の判断にはグラスホフ数あるいはレイリー数が用いられ、通常壁温一定の場合の層流伝達域は、 $GrPr < 10^9 \sim 3 \times 10^{10}$  となる。

なお各式の物性値は、室温と壁温度の算術平均温度である膜温度  $\theta_f$  における値を使用している。

## 2.6.2 測定方法および理論計算

### 2.6.2.1 測定方法

レンズユニットの道路交通信号灯器の内側表面の温度測定は、図 2.30 に示すように、クロメル・アルメル熱電対の貼付型センサ TNA-8(TASCO JAPAN 製) をレンズユニットの中心と、中心から  $-45\text{mm}$ 、 $-90\text{mm}$ 、 $-150\text{mm}$ 、 $45\text{mm}$ 、 $90\text{mm}$ 、 $150\text{mm}$  の地点に耐熱テープで貼り付け、これをデジタル温度計 TNA-20 で 15 分毎に 8 時間連続測定する。

またレンズユニットの道路交通信号灯器の内側と外側表面の中心から上下に、図 2.30 に示すように  $15\text{mm}$  間隔で合計 21 個のセンサを貼り付け、温度飽和状態でデジタル温度計 TNA-20 で測定する。

次に道路交通信号灯器内部の流体温度測定は、反射板に直径  $10\text{mm}$  の孔を空け、そこからクロメル・アルメル熱電対の空気センサ (高速応答タイプ) TNA-3 を内部に挿入した後封止し、 $15\text{mm}$  間隔でレンズユニット近傍の流体温度を温度飽和状態でデジタル温度計 TNA-20 で測定する。

また実験は外気温の影響を避けるため、室温が  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  の恒温室で行う。

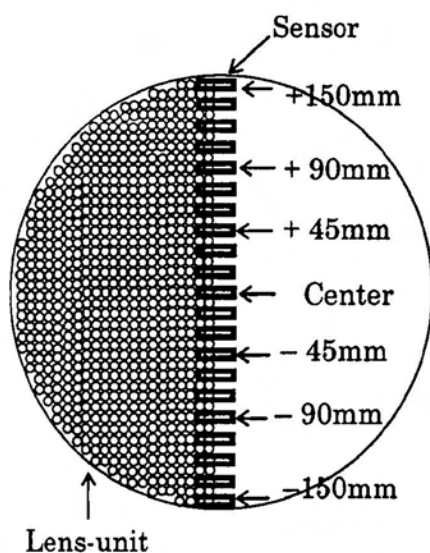


図 2.30: レンズユニットのセンサ貼り付け位置



### 2.6.2.2 理論計算

レンズユニットは、信号電球から熱放射エネルギーを吸収している。このときのレンズユニット表面温度上昇のシミュレーションを考える。

この現象を考えるのに次のような仮定を立てる。

- ・レンズユニットは測定した範囲より、横 15mm、縦 300mm の垂直平板である。
- ・バンドミラー型道路交通信号電球 TS70R はレンズユニット面に対し垂直に  $70W/m^2$  の熱放射を行っている。

空気の物性値として、室温と壁温度の算術平均温度である膜温度における値を使用したが、熱放射により上昇した温度が未知なため、まず周囲温度  $\theta_{\infty} = 20^{\circ}C$  における物性値を使用する。式 (2.23) よりグラスホフ数を求める。次に式 (2.25) よりレイリー数を求め、式 (2.24) より平均ヌセルト数を計算し、レンズユニット表面の温度を求める。この表面温度から式 (2.22) で温度境界層を求め、これを式 (2.13) に代入し、レンズユニット表面から 1mm の距離の流体温度を求め、この温度を周囲温度として、次々にレンズユニット表面温度を求めていく。レンズユニットの道路交通信号灯器内側表面からレンズユニット外側までの温度変化を表すには、式 (2.3) の境界条件として、レンズユニットの両面温度が与えられているときは、 $\alpha_1 \rightarrow \infty$ 、 $\alpha_2 \rightarrow \infty$  および  $\theta_{f1} \rightarrow \theta_{w1}$ 、 $\theta_{f2} \rightarrow \theta_{w2}$  とすると式 (2.5) より、次式となる。

$$\theta = -(\theta_{w1} - \theta_{w2})\frac{y}{\ell} + \theta_{w1}. \quad (2.26)$$

次に、レンズユニット表面から周囲温度へ移行する様子を現すには、境界層厚さ  $\delta$  を求める必要があり、式 (2.22) にレンズユニット表面外側の各値の測定結果と周囲温度  $\theta_{\infty} = 20^{\circ}C$  における各値を代入する。但し、 $\delta$  は平板に沿う位置を示しているので、センサの幅 3mm より  $x = 3mm$  として、式 (2.13) を用いると、レンズユニット表面からの温度と距離の関係が求まる。

### 2.6.3 測定結果および考察

道路交通信号灯器のレンズユニット内側表面にセンサを張り付け、バンドミラー形道路交通信号電球 TS70R を使用し、室温  $20 \pm 1^{\circ}C$  の恒温室内において、レンズユニット中心

と、中心から－45mm，－90mm，－150mm，45mm，90mm，150mmの地点で15分毎に8時間連続表面温度の測定を行った。なお、今回の測定ではカラーレンズを装着せず、道路交通信号灯器の前面にはレンズユニットのみを装着した。

この時の測定結果を図2.31に示す。この測定結果より、8時間交通信号用電球を連続点灯した場合、道路交通信号灯器内の温度は3時間で飽和している。また、電球に一番近い0mmが最高温度ではなく、45mmで最高温度を示している。

図2.32に180分経過したときのレンズユニットの内側と外側の表面温度、および図2.33に内側表面近傍(3mm)の流体温度の測定結果を示す。

この測定結果は、レンズユニット表面内側温度はレンズユニット中心から、50mmの近傍で最高温度を示している。また、流体温度は85mmの近傍で最高温度を示している。この結果は以下のように考えられる。

信号電球の熱放射によりレンズユニットの中心部分の温度上昇が起こり、近傍流体への熱伝達が起こる。次に自然対流により、暖められた流体が上部に移動し、流体温度と熱放射の相互作用によりレンズユニットの50mmの近傍の温度が上昇する。そして反射板に近づくにつれ、反射板の室内への放熱現象により温度が下降する。したがって、レンズユニットでは上部の50mmの近傍で、流体温度では85mmの近傍で最高温度を示す。

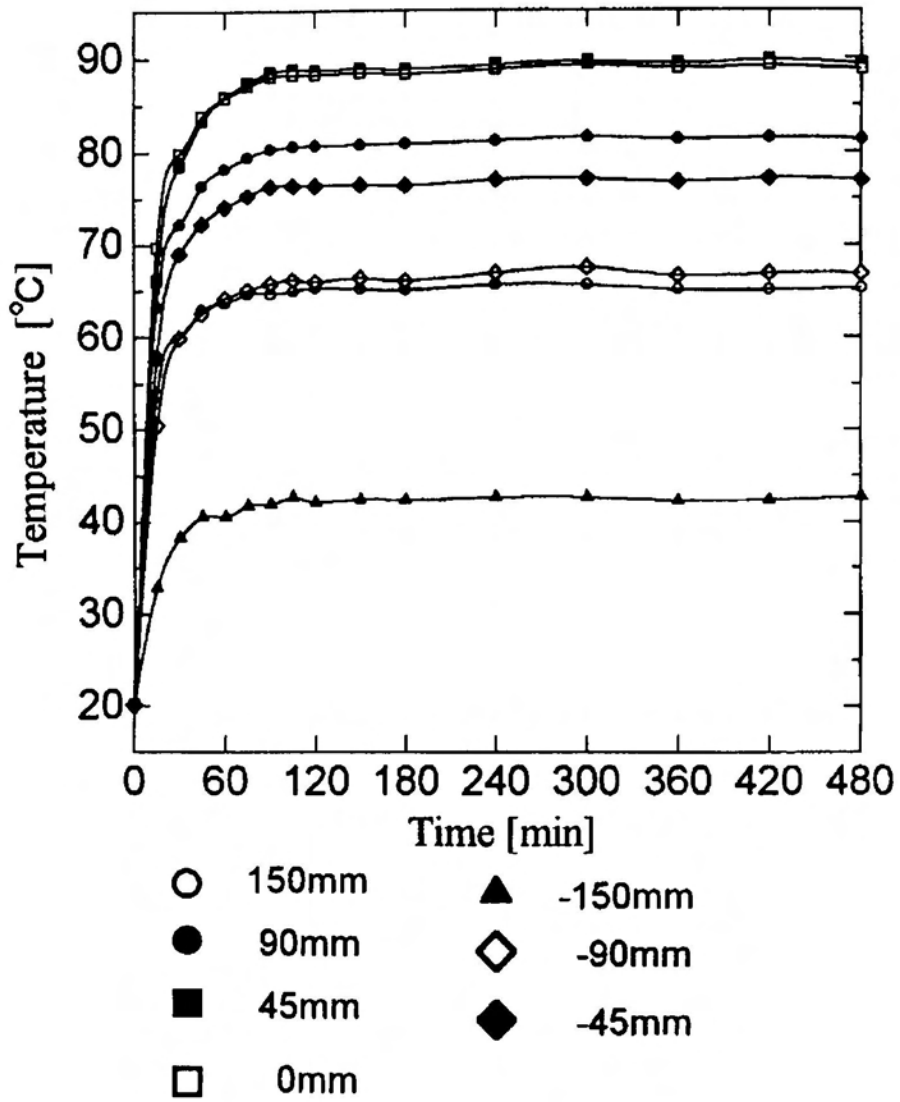


図 2.31: 時間変化に対する温度変化

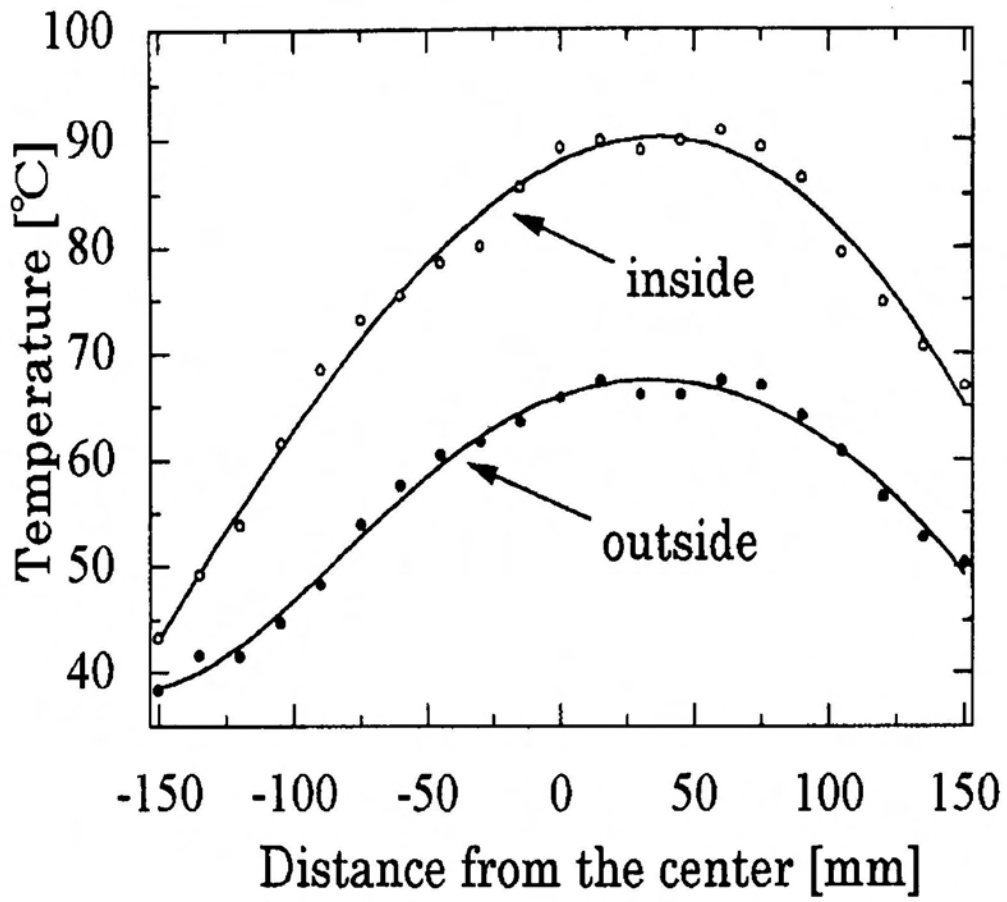


図 2.32: レンズユニットの表面温度 (180 分後)

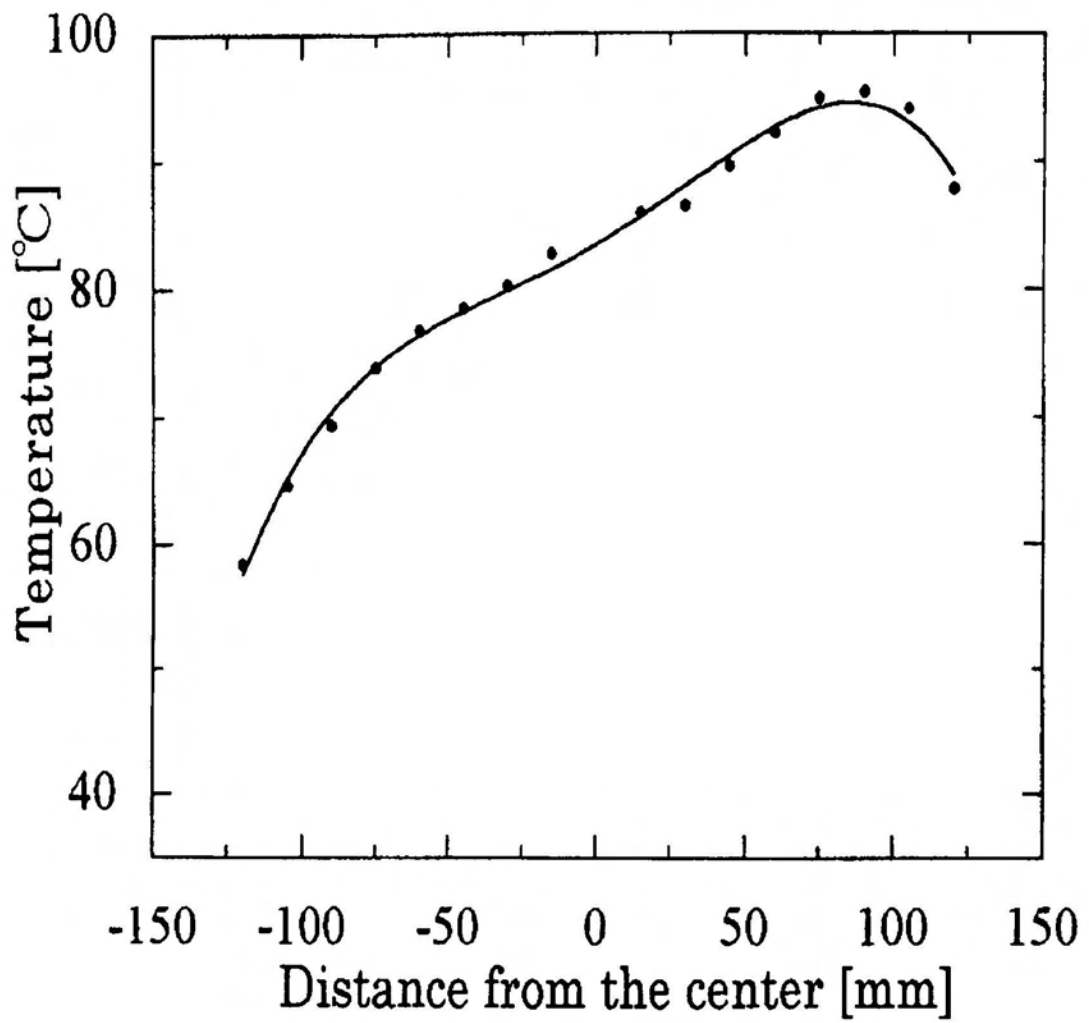


図 2.33: レンズユニット内の流体温度 (180 分後)

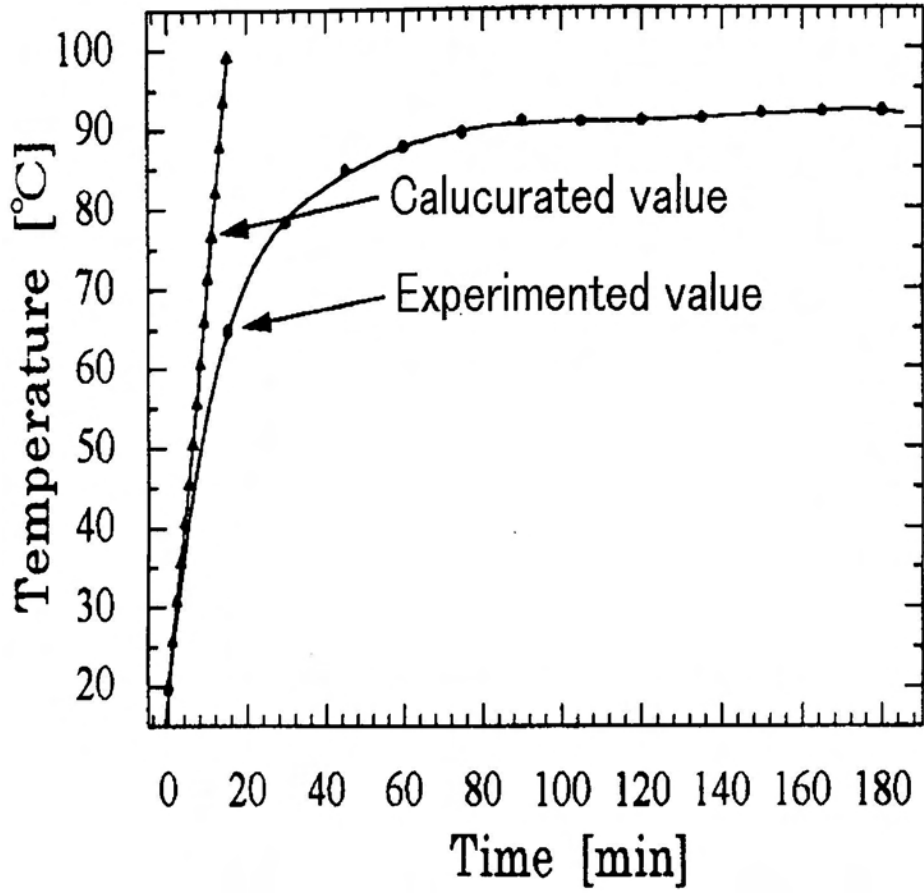


図 2.34: 時間経過に対する温度変化 (計算値と実験地)

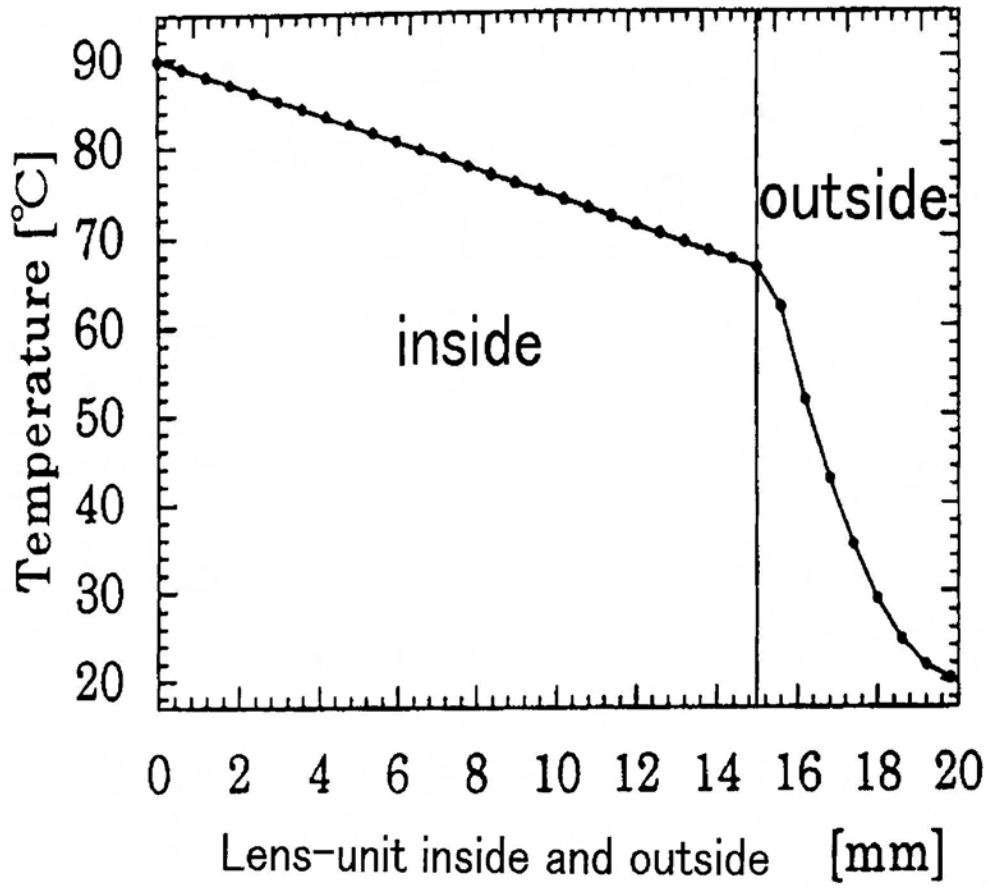


図 2.35: レンズユニット内部と周囲温度への温度変化

図 2.34 に、理論計算より求めた計算結果とレンズユニット内側の測定結果を示した。理論計算は、レンズユニットや反射板の放射現象は考慮していないので、測定結果とは異なり温度上昇が続いている。測定結果では、信号電球の熱放射によってレンズユニットの表面の温度が上昇する。上昇した温度は、直ちに近傍流体への熱伝達がおこり、飽和現象が起こる。しかし、近傍流体への熱伝達の少ない温度の立ち上がり部分に着目すると、信号電球の熱放射によるレンズユニットの温度上昇は計算結果と測定結果で一致している。

図 2.35 は、定常状態で信号電球の熱放射による温度が、レンズユニットの内側表面からレンズユニットを伝わって室温へ到達する様子をシミュレーションで示したものである。この図より、レンズユニットから 5mm 離れたところで室温になる。しかしながら、レンズユニット外側近傍の測定は、測定部分へセンサを移動させるだけで近傍流体が移動するため、測定不可能であった。

測定結果より、レンズユニットの中心より上方 50mm 近傍で最高温度が 90℃以上になるため、レンズユニットの形状が変化することが確認できた。したがって、この部分をねじで圧着することで交通信号電球の輻射熱による、ポリカーボネートの屈折率の変化を防ぎ、視認性の変化を無くした。



## 2.7 結論

この章において、多眼球レンズユニットの設計を行う上で、光線軌跡法によるシミュレーション解析を行い最適な設計数値を求めた。

シミュレーション結果より、直径7.0mmの球レンズを2個用いた場合、平行光線へ一番近づくのはレンズ間距離が1.4mmの時であった。

2876個の球レンズを配列させて集合体とし、板状の薄いレンズ板の一体成型を行った。この球レンズの集合体を多眼球レンズ板と呼ぶ。多眼球レンズ板を用いることにより、遠方に位置する太陽は2876個の球状レンズ面に映し出され、その裏面に同数の焦点を結ぶ。したがって、その位置に遮光板を設置すれば太陽光線を遮断することができる。よって、遮光板を多眼球レンズで挟み込み、一体としたレンズユニットの設計を行った。

遮光板型レンズユニットを、道路交通信号灯器に装着したことにより、警管仕第4号“疑似点灯防止ランプユニット仕様書”の光度特性を満足することを明らかにした。

太陽光ファントム比を定義し、疑似点灯防止を施していない道路交通信号灯器より5度の時で最大5倍、-10度の時で最大4倍、15度の時で最大2.7倍になることを明らかにした。

道路交通信号灯器が点灯しないときは、太陽の光を遮断して、その反射光が外に現れず、外部から出来るだけ暗黒色に見えることを示した。

点灯状態と非点灯状態の道路交通信号灯器の明暗のコントラストは、顕著でかつ点灯した色が一目で識別できることを示した。

交通用信号電球の熱輻射で、レンズユニットの中心より上方50mm近傍で最高温度が90℃まで上昇するため、レンズユニットの形状が変化することが確認できた。よって、多眼球レンズ板の各焦点距離が変化し視認性が変化することが明らかになった。したがって、この部分をねじで圧着することで、レンズユニットの変化を防ぎ視認性の変化を無くした。

## 第3章 遮光膜型道路交通信号灯器の設計

この章において、遮光膜型道路交通信号灯器の設計について述べる。第2章において、警視庁の定める警管仕第4号“疑似点灯防止ランプユニット仕様書”の光度分布を満足させる多眼球レンズユニット(レンズユニットと略記する)の設計を述べた。しかしながら、遮光板型レンズユニットの光度分布は、警察庁の定める警交仕規第23号[版2]“金属製車両用交通信号灯器仕様書”の光度表の下方40度では半分の光度しかない。そこで、遮光板を遮光膜に変えることによって、太陽光ファントム比を損なうことなく警交仕規第23号[版2]の光度分布を満足することを目的とする。

まず、遮光膜型レンズユニットの構造を述べ、その光学特性と遮光性能について考察を行なう。次に、太陽光線が疑似点灯防止のない道路交通信号灯器、疑似点灯防止を施した従来の道路交通信号灯器、設計した遮光膜型道路交通信号灯器に照射している状態を示す。点灯状態と非点灯状態の遮光膜型道路交通信号灯器の明暗のコントラストは、顕著でかつ点灯した色が一目で識別できることを示す。最後にこの章の結論を述べる。

### 3.1 遮光膜型レンズユニットの設計

#### 3.1.1 遮光膜型レンズユニットの構造

図3.1は遮光膜のパターンで、図3.2は遮光膜型レンズユニットの断面図である。図3.3、図3.4は遮光膜型レンズユニットの断面写真である。

図3.1はポリカーボネート樹脂で作られたレンズユニット( $\phi = 300mm$ )に、有機溶剤系の黒インクを用いて作る遮光膜パターンである。上半分の上方は、庇により遮光ができるために、遮光膜を一本置きにしている。

図3.2は断面図で、球レンズの有効径下側に、上半分は1.6mm、下半分は2mmの幅で遮光膜を形成している。これは庇によりレンズユニットに入射する太陽高度が違うためで

ある.

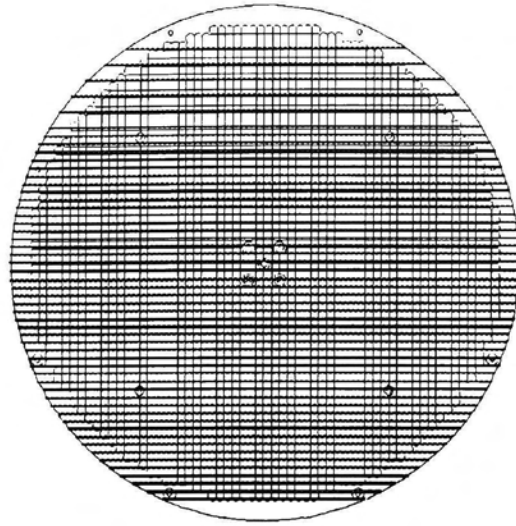


図 3.1: 遮光膜パターン

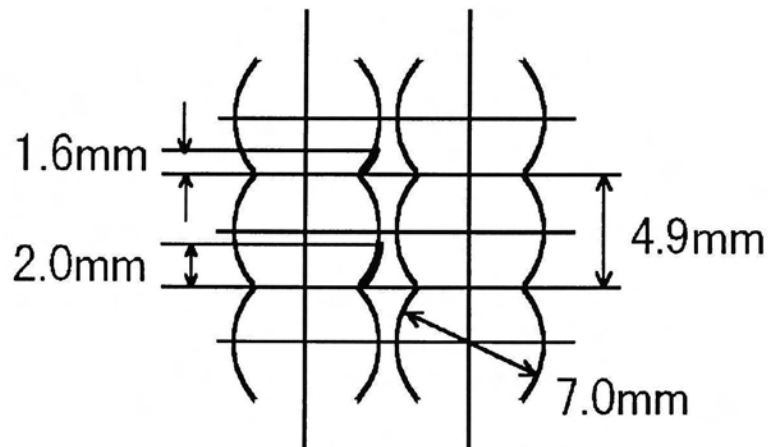


図 3.2: 遮光膜型レンズユニット断面図

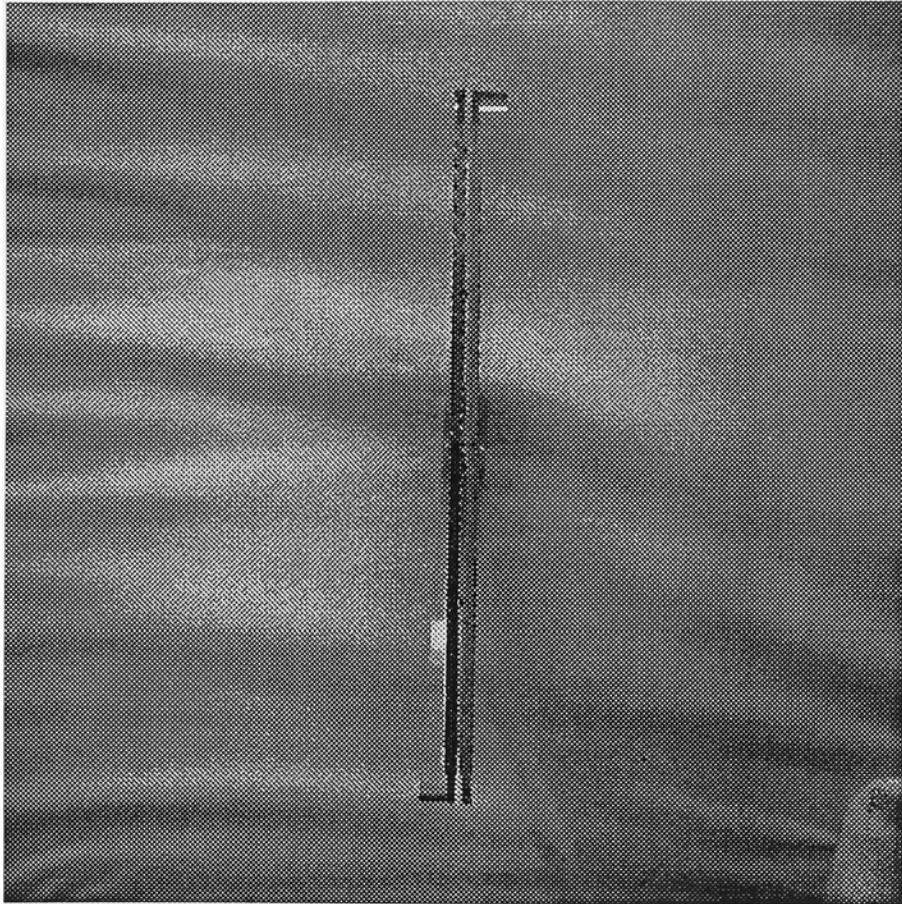


図 3.3: 遮光膜型レンズユニット断面写真 (全体) 直径  $\phi = 300\text{mm}$

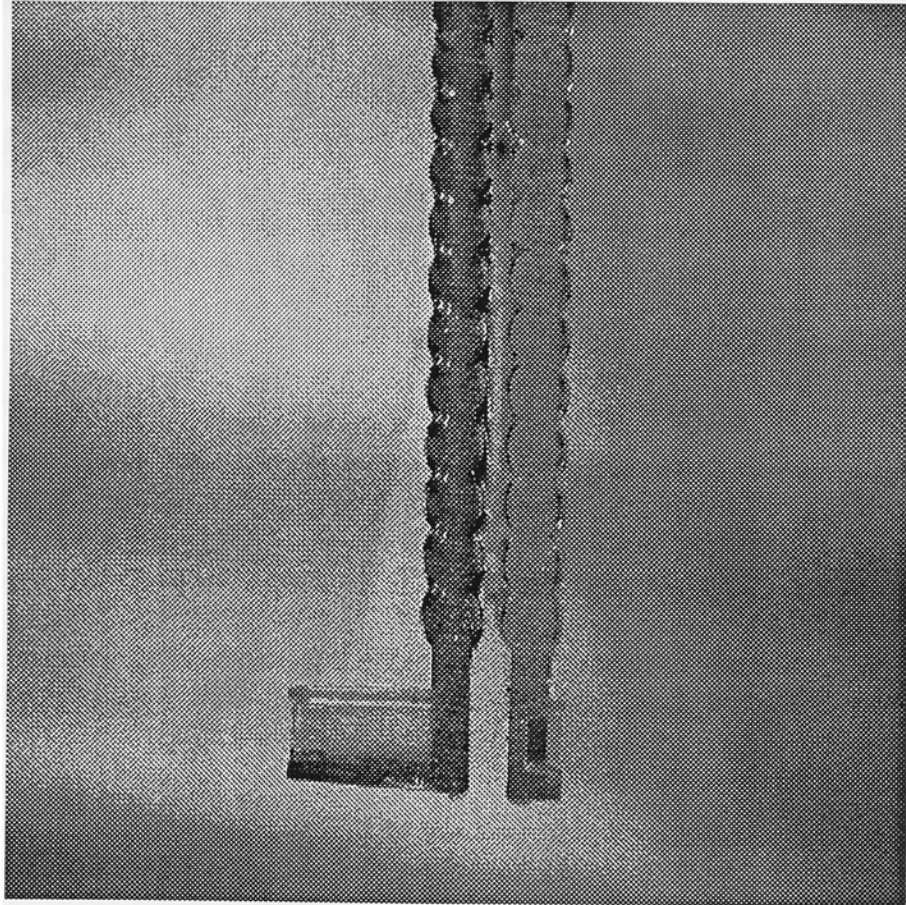


図 3.4: 遮光膜型レンズユニット断面写真 (一部拡大)[寸法は図 3.2 参照]

## 3.2 遮光膜型レンズユニットの総合特性

### 3.2.1 実験方法

実験は、警察庁の定める警交仕規第 23 号 [版 2] 総合特性に基づいて輝度均斉度、光度の測定を行った。遮光性能は警視庁の定める警管仕第 4 号に基づいて行った。

#### 3.2.1.1 輝度均斉度

交通信号用電球 (TS70R) を点灯したときの輝度均斉度は、図 3.5 に示すように、輝度計を主光軸に設置し、測定距離は輝度計 (トプコン BM-7) の視野の寸法が、レンズ表面上で  $50 \phi \text{ mm} \pm 10$  になるように設置する。輝度計を左右方向、上下方向に振って図 3.6 の各点を測定した時 5 対 1 以下であること。

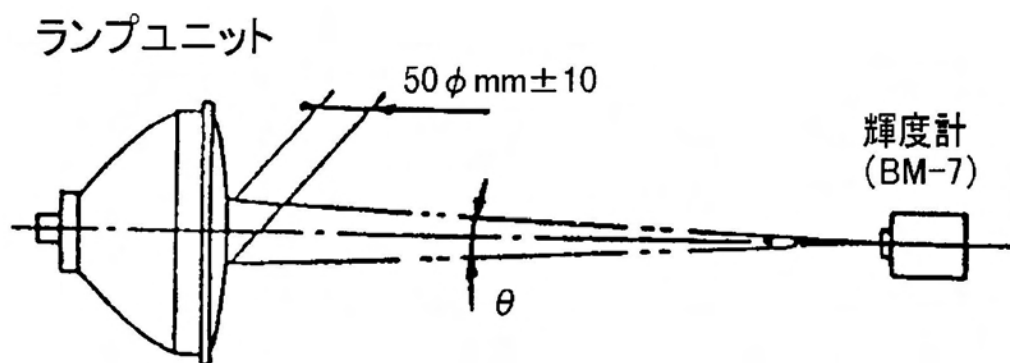


図 3.5: 輝度均斉度の測定

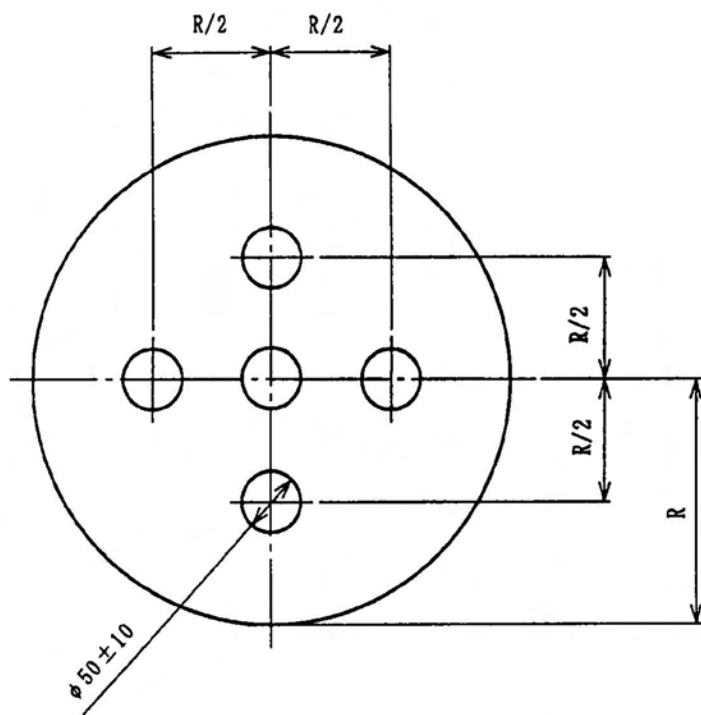


图 3.6: 輝度測定点 ( $R=150\text{mm}$ )

### 3.2.1.2 光度特性

光度は図 3.7 に示すように、交通信号用電球を点灯したときフィラメントから 10m 前方の距離に輝度計を設置して測定する。主光軸を 0 度とし警交仕規第 23 号 [版 2] 総合特性の測定点を、図 3.8 の測定方向に主光軸を 0 度として下方向に -40 度まで、各角度で左右方向に ±40 度ずつ輝度計で測定して光度に換算する。

なお、縦方向 0 度より上方の光は道路上の視認性には必要性が無い。縦方向 0 度の左右 20 度以上の光度については、灯器の真横方向になり、道路幅上の視認点から外れるため規定されていない。このため測定を行っていない。

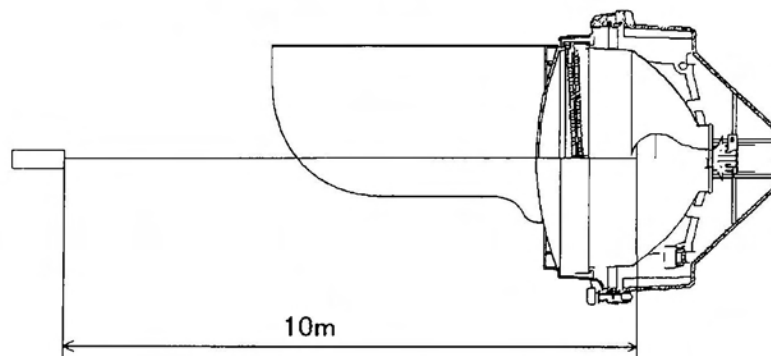


図 3.7: 光度測定

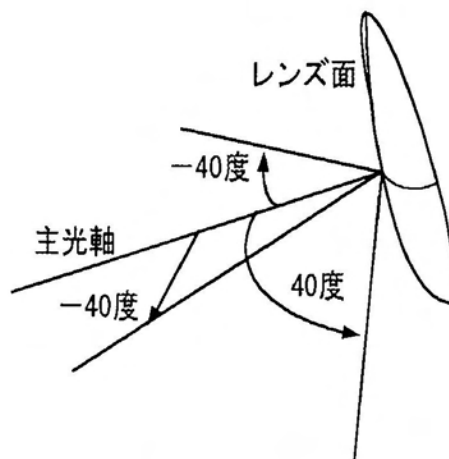


図 3.8: 測定方向



### 3.2.2 実験結果および考察

#### 3.2.2.1 輝度均斉度

図 3.5 に示す  $50 \phi \pm 10\text{mm}$  となる距離は 2.43m で、視野角は 1 度であった。そのとき図 3.6 の 5 点を測定した。図 3.9 に輝度測定順番を、表 3.1 に結果を示す。

表 3.1: 輝度均斉度

		1	2	3	4	5
青色	測定値 [ $\text{cd}/\text{m}^2 \times 10^4$ ]	0.311	0.871	0.747	1.307	1.432
	対最小の比	1.000	2.801	2.402	4.203	4.605
黄色	測定値 [ $\text{cd}/\text{m}^2 \times 10^4$ ]	0.627	1.768	1.536	2.702	2.985
	対最小の比	1.000	2.820	2.450	4.309	4.761
赤色	測定値 [ $\text{cd}/\text{m}^2 \times 10^4$ ]	0.245	0.675	0.598	1.040	1.143
	対最小の比	1.000	2.755	2.441	4.245	4.665

図 3.9, レンズ表面上 5 点を測定し、警交仕規第 23 号 [版 2] で示されている輝度均斉度は、輝度の最小と最大の比が 1 対 5 以下であればよい。輝度の最小と最大の比率は、最大で 4.76, 最小で 4.60 である。輝度均斉度は満足している。

#### 3.5.2.2 光度測定

光度測定は、図 3.7 に示したようにフィラメントから 10m 前方主光軸上に輝度計を設置し、図 3.8 に示したように下方向を - とし、- 10 度ずつ最大 - 40 度まで測定する。そのとき、左方向を - 右方向を + として 10 度ずつ - 40 度から 40 度まで測定した。

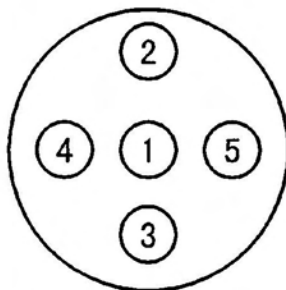


図 3.9: 輝度測定順番

その時の光度分布は図 3.10(青), 図 3.11(黄) そして図 3.12(赤) として示している. それぞれの図において「standard」は警交仕規第 23 号 [版 2], 「mask plate」は遮光板型レンズユニット, そして「mask film」は遮光膜型レンズユニットのそれぞれの光度を表している. それぞれの図 (a), (b), (c) と (d) は光軸から縦方向の配光角 0 度, - 10 度, - 20 度と - 30 度の測定結果で, 遮光板型レンズユニットも遮光膜型レンズユニットも警交仕規第 23 号 [版 2] の光度表を十分に満足している.

次に, 図 3.10(青) と図 3.12(赤) の図 (e) は光軸から縦方向の配光角 - 40 度の測定結果である. 従来の遮光板型レンズユニットでは, 警交仕規第 23 号 [版 2] の半分の光度しかないが, 遮光膜型レンズユニットは, 十分に満足している.

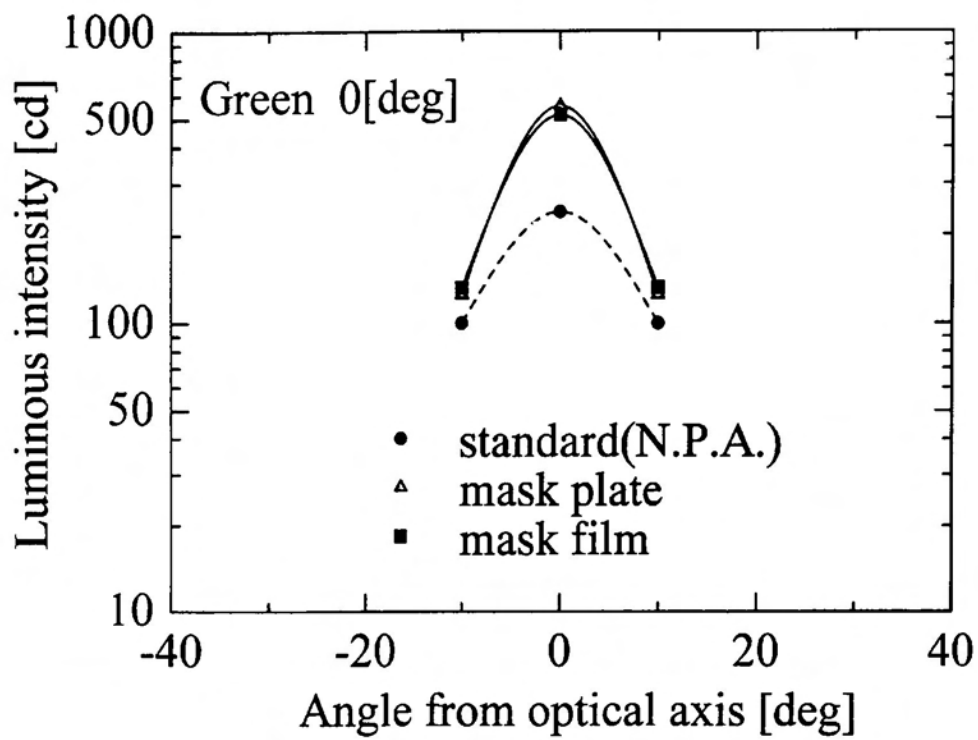
また, 図 3.11(黄) の図 (e) は, 遮光板型レンズユニットにおいては, 光軸と光軸から  $\pm 10$  度では, 警交仕規第 23 号 [版 2] の光度を満たしていないが, それ以上の角度になると満たしていることが分かる. これに対して, 遮光膜型レンズユニットは, 全ての配光角に対して十分に満足している.

次に, 図 3.10(青), 図 3.11(黄), 図 3.12(赤) のグラフを比較すると, 黄色が最も光度が高いため最も見え易い. しかしながら, 透過光による最も見にくい赤色においても光度は青色とほぼ同じになっているので, 同等の見え易さになっている. このため, 今回設計した遮光膜型レンズユニットは, 見え易さの点においても遮光板型レンズユニットよりも優れている.

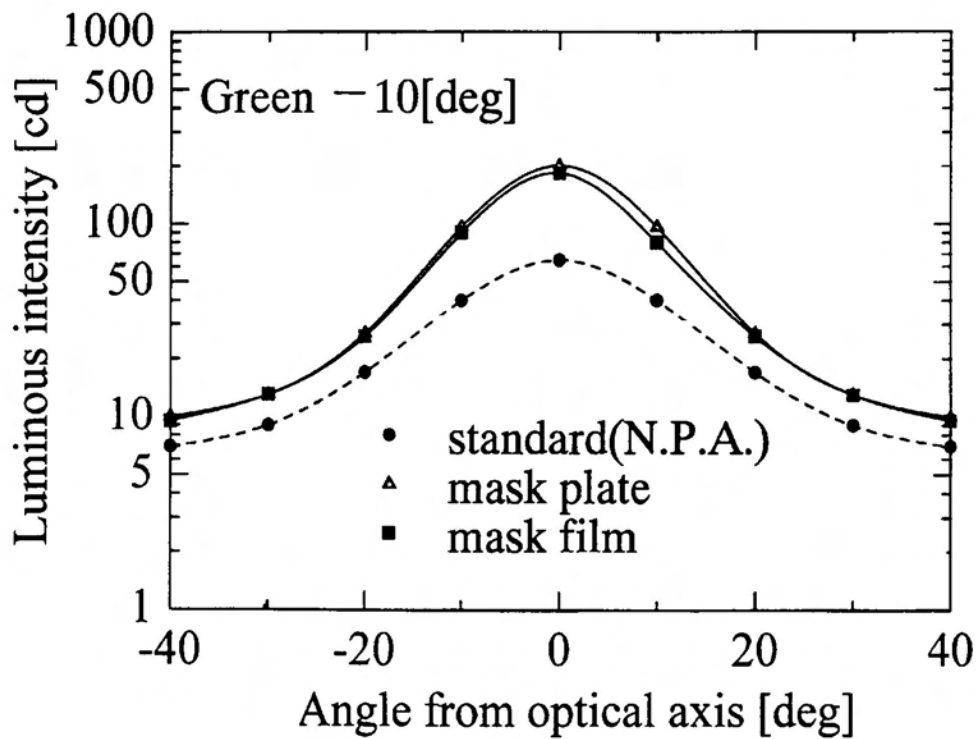
このように, 遮光膜型レンズユニットが遮光板型レンズユニットより, 光度が高くなるのは, 遮光板の板厚に起因すると考えられる. 板厚があるために遮光性能が向上しているが, 縦方向の配光角が高くなるにつれて, 板の厚さが光の入射を妨げている. よって, 縦方向の配光角が 30 度以上になると, 遮光板型レンズユニットの光度は急激に落ちる.

しかし, 遮光膜型レンズユニットは, 黒インクをプリントしているので縦方向の配光角が 30 度以上になっても光度は落ちない.

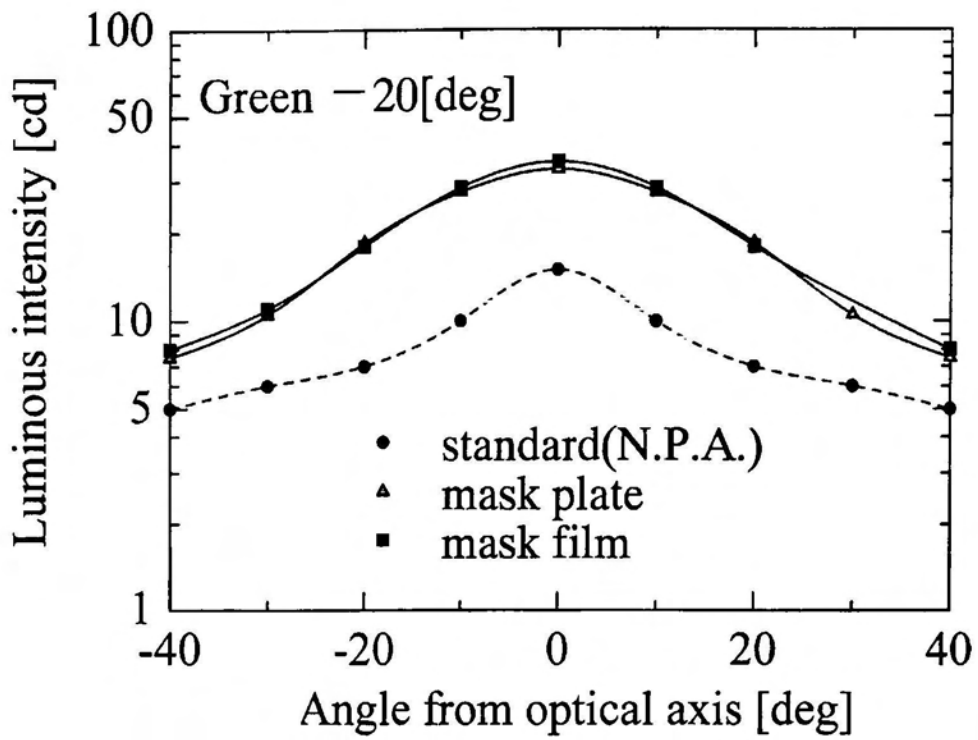
遮光膜型レンズユニットは, 図 3.10(青), 図 3.11(黄), 図 3.12(赤) の図 (e) で光軸から縦方向の配光角 - 40 度で, 光軸からの角度が  $\pm 40$  度の地点で光度の値が上昇している. これは, 多眼球レンズ板の一体成型による多眼球レンズユニットの 2 重構造に起因するものと思われる. すなわち, 交通信号用電球側の多眼球レンズ板を通過した光は, 本来入射すべき球レンズに入射せず球レンズの形状をなしていない部分に入射するためと思われる.



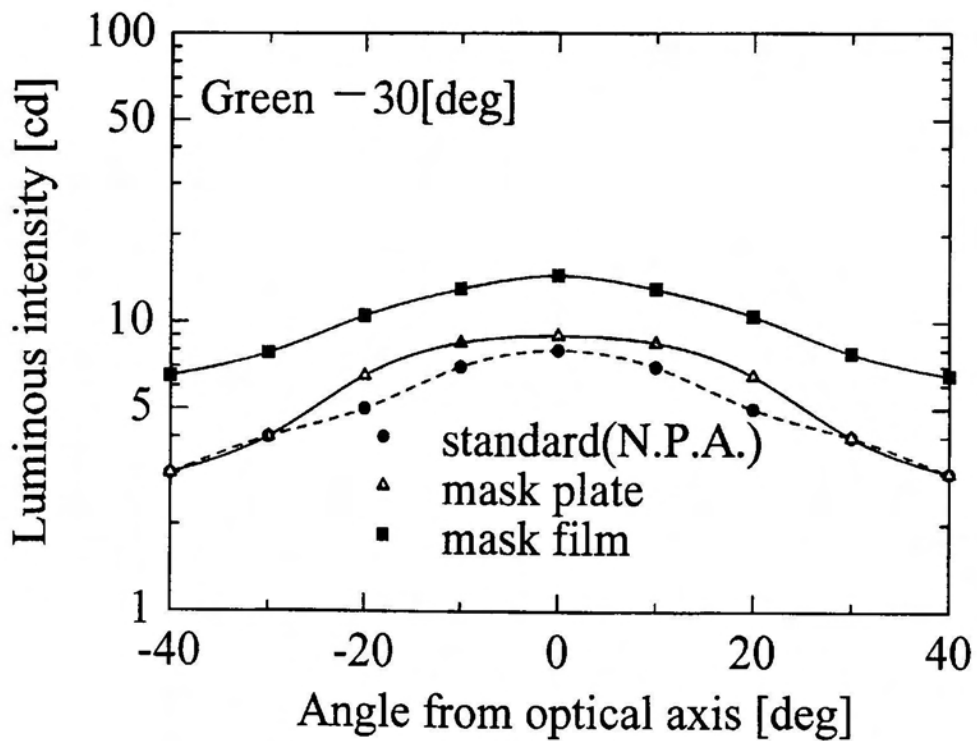
(a) 光軸からの配光角 (0度)



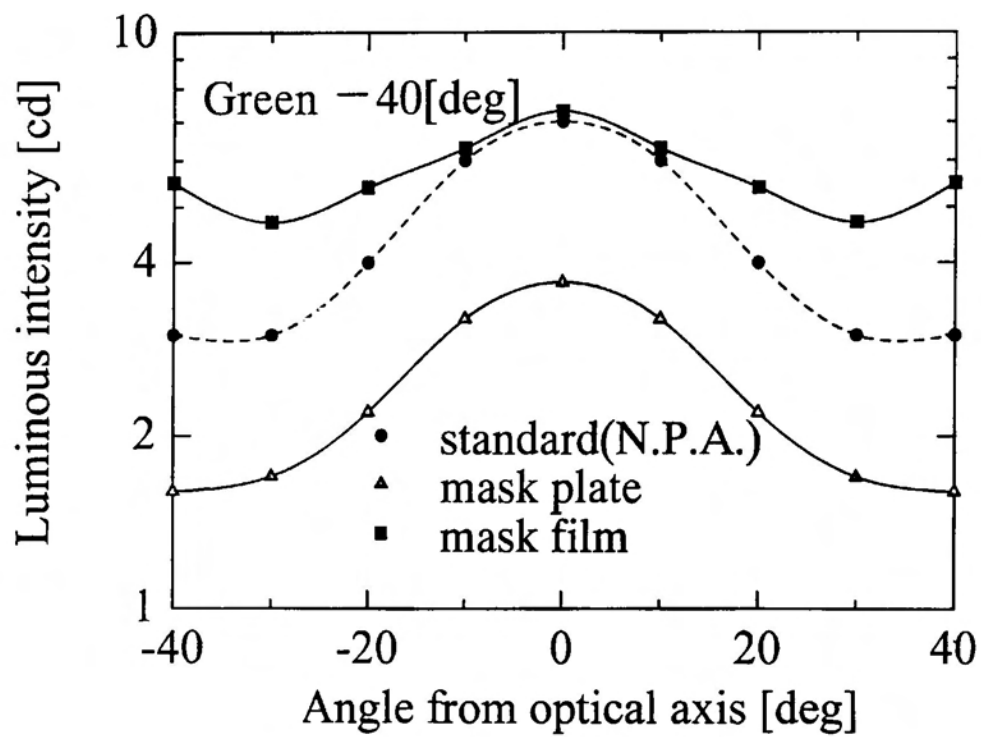
(b) 光軸からの配光角 (-10度)



(c) 光軸からの配光角 (-20度)

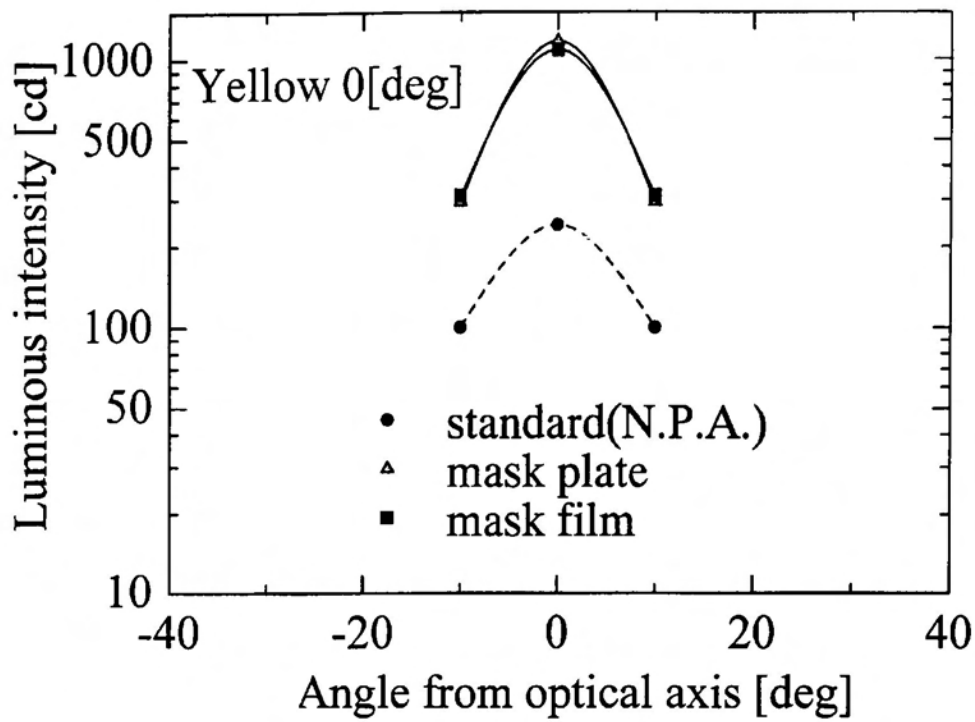


(d) 光軸からの配光角 (-30度)

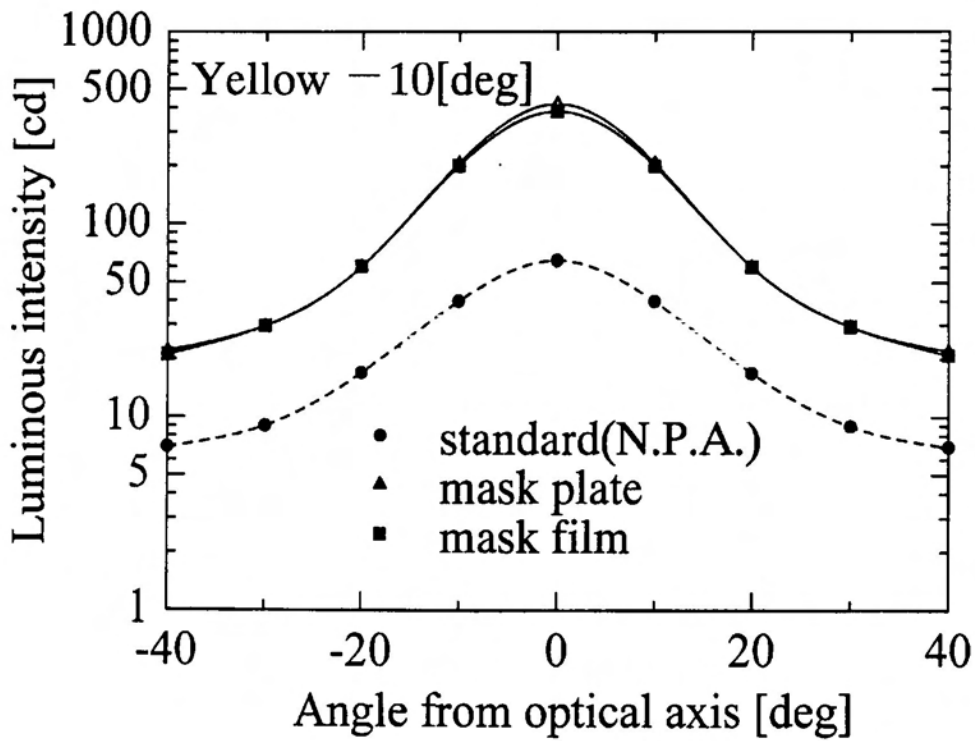


(e) 光軸からの配光角 (-40 度)

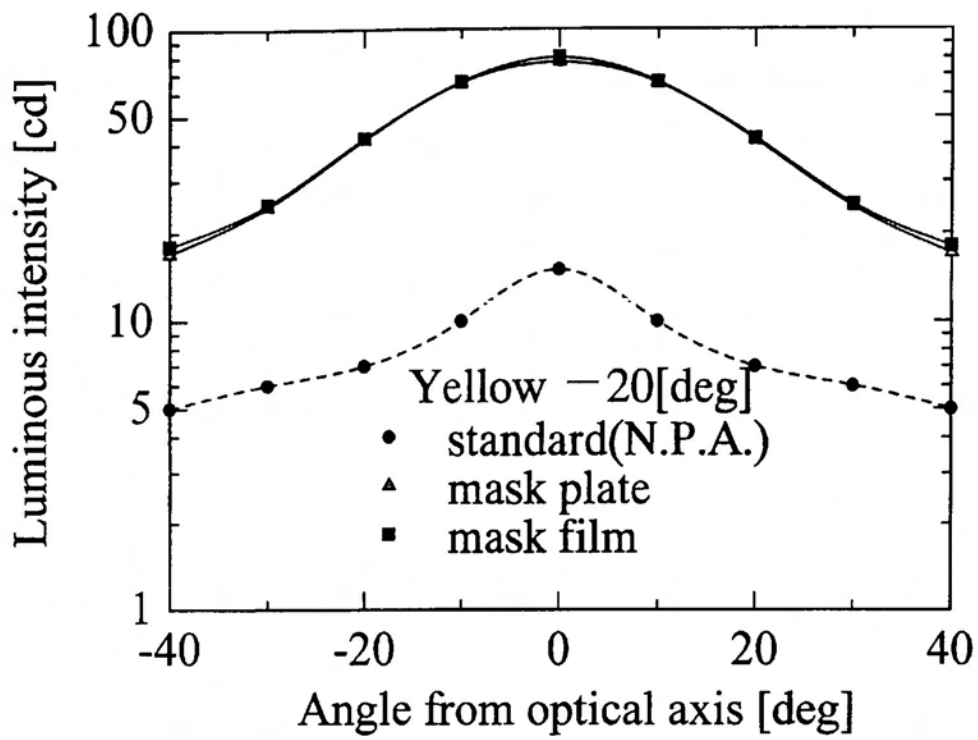
図 3.10: 光度分布 (青色)



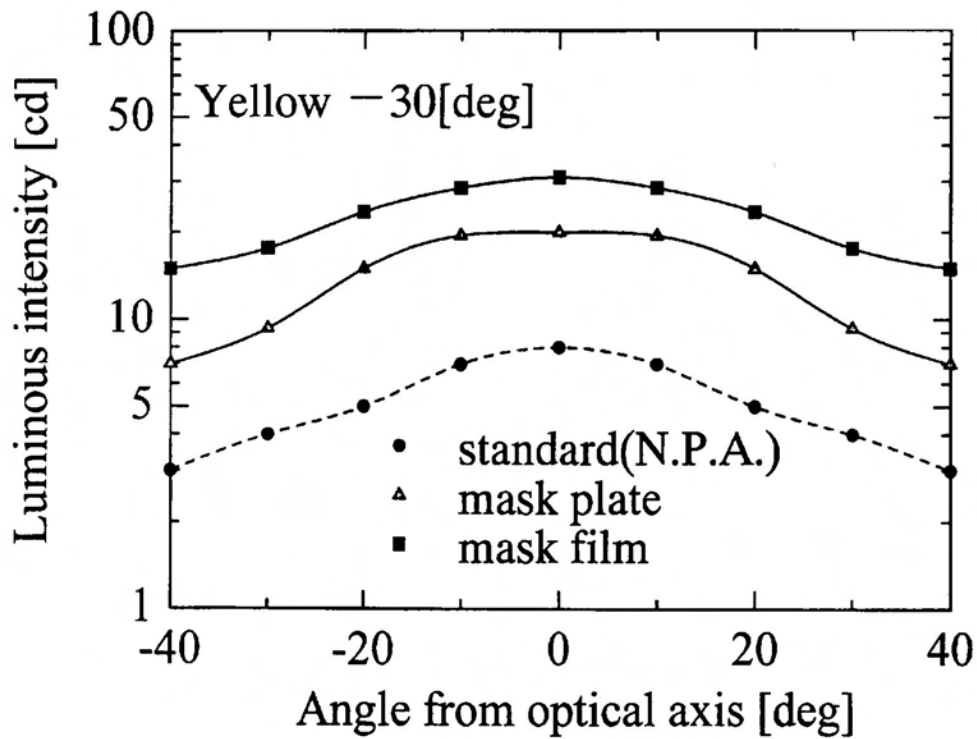
(a) 光軸からの配光角 (0度)



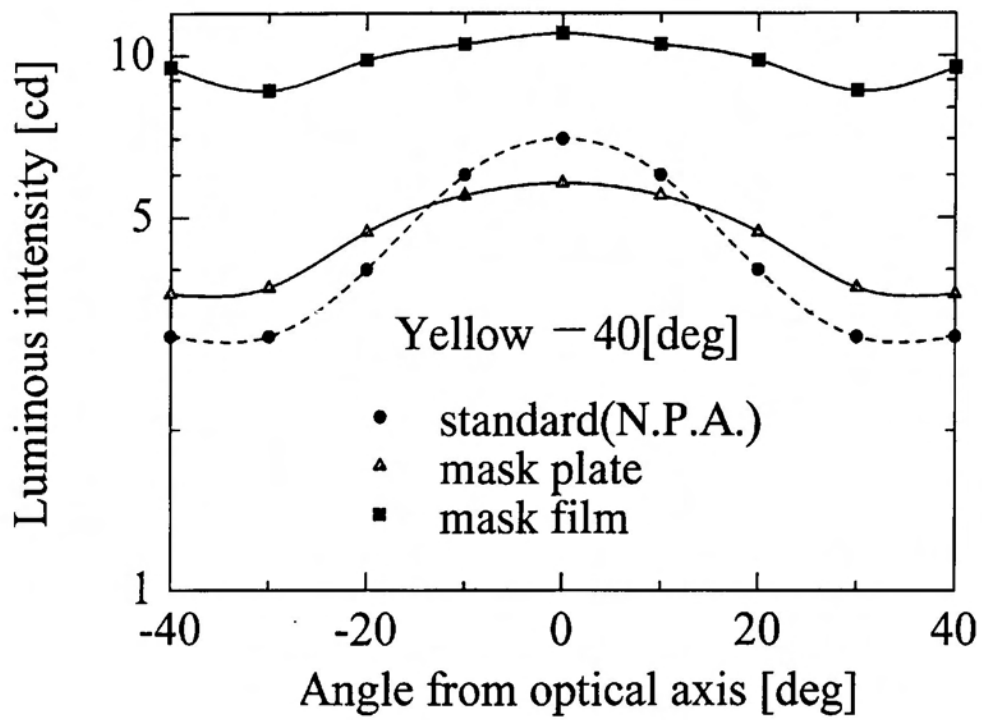
(b) 光軸からの配光角 (-10度)



(c) 光軸からの配光角 (-20 度)



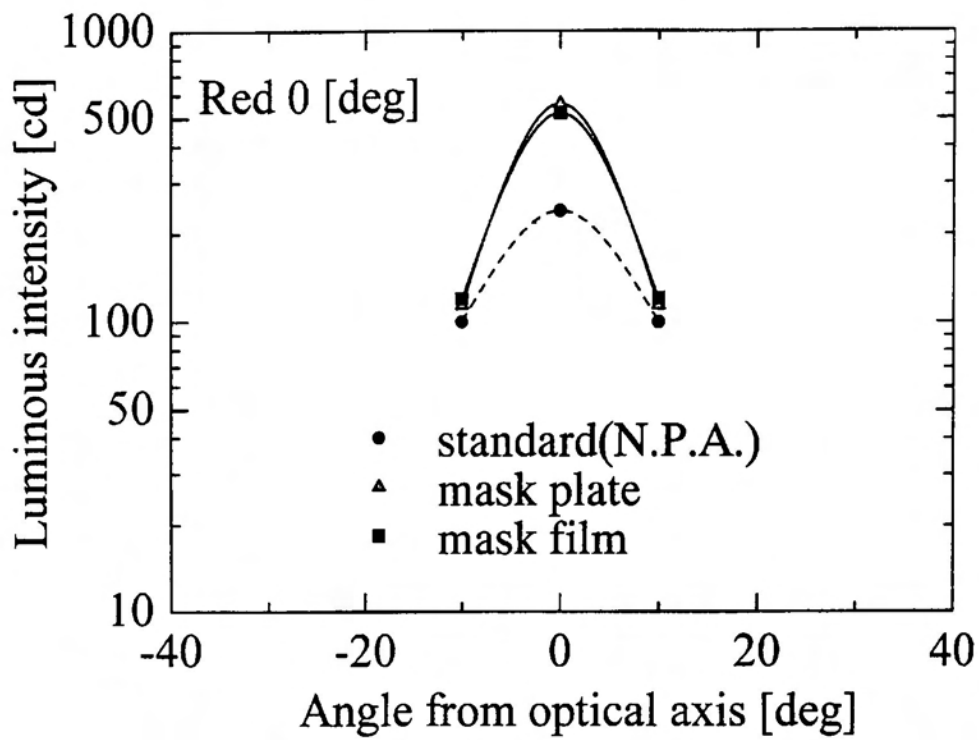
(d) 光軸からの配光角 (-30 度)



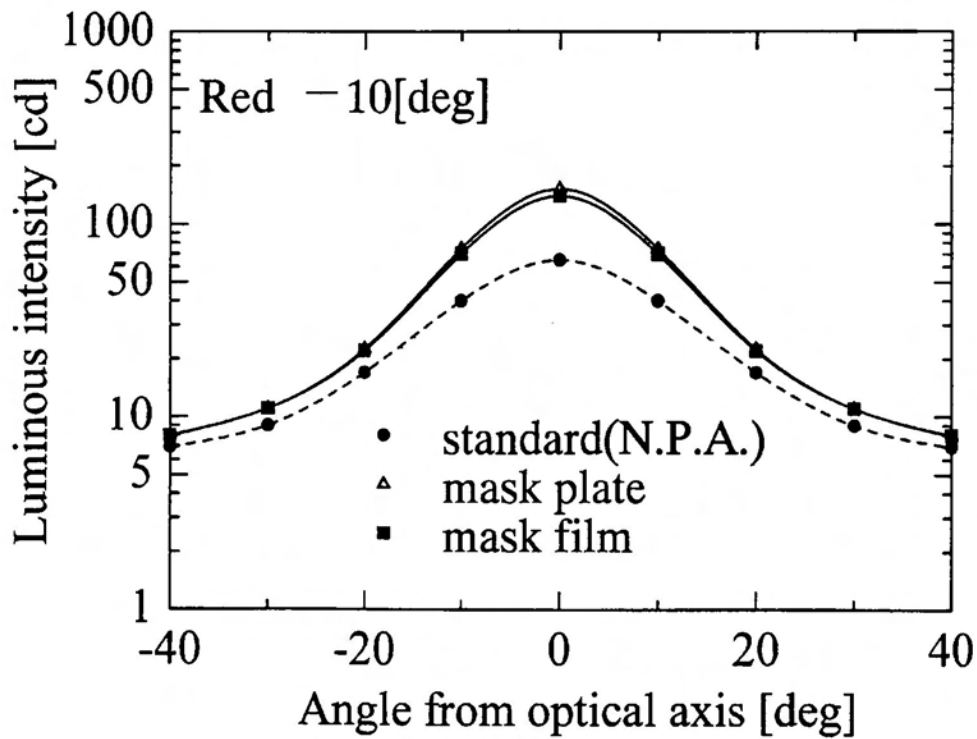
(e) 光軸からの配光角 (-40 度)

図 3.11: 光度分布 (黄色)

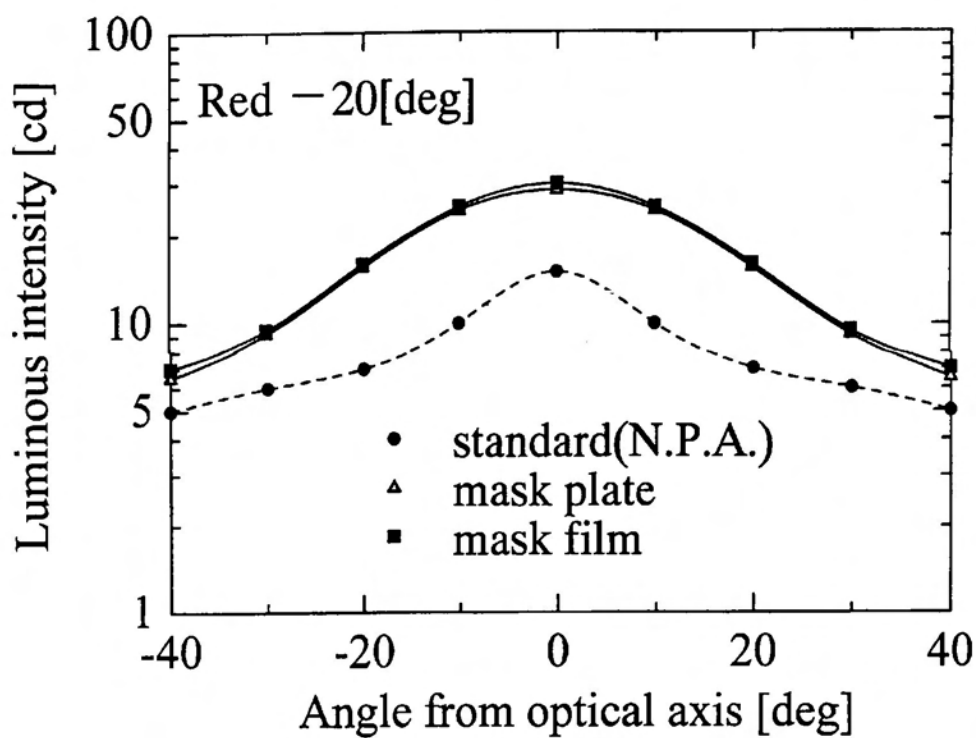




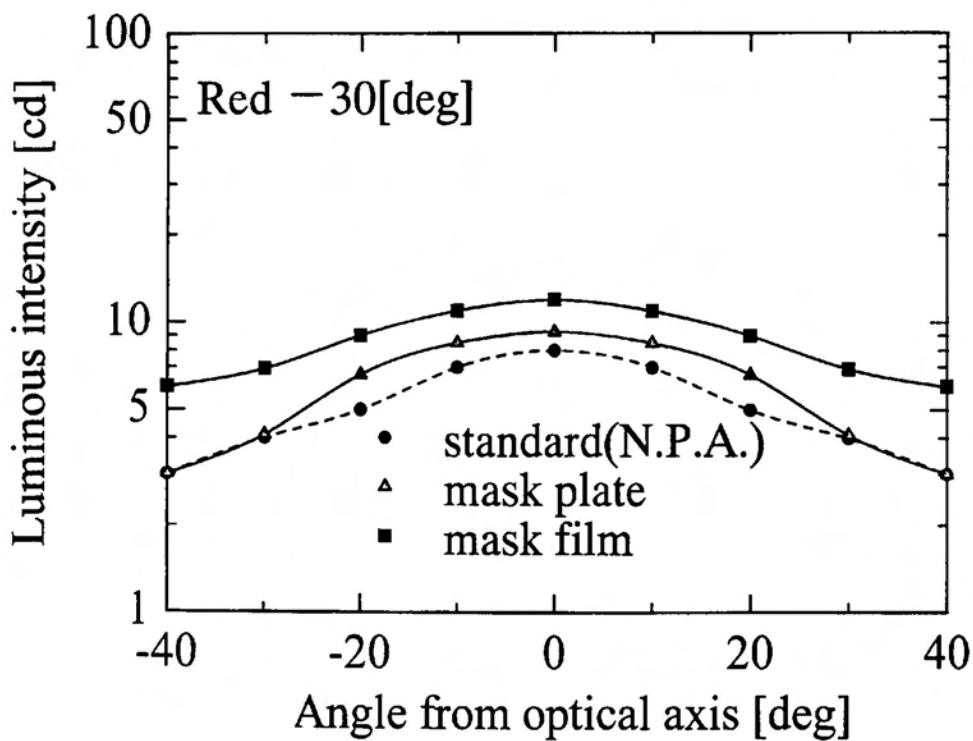
(a) 光軸からの配光角 (0度)



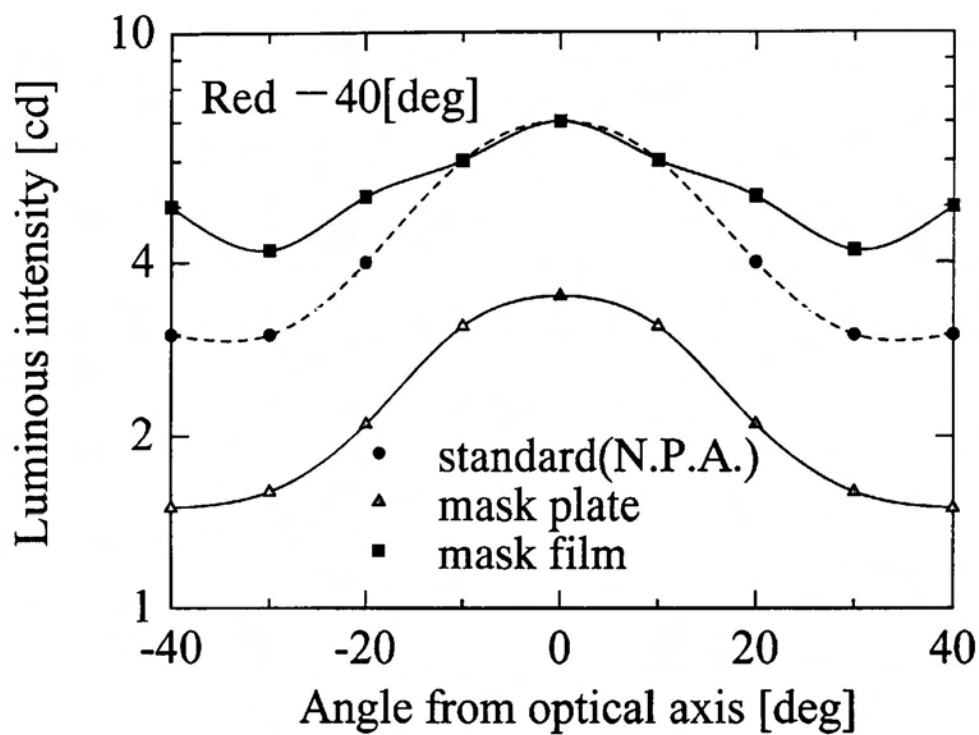
(b) 光軸からの配光角 (-10度)



(c) 光軸からの配光角 (-20 度)



(d) 光軸からの配光角 (-30 度)



(e) 光軸からの配光角 (-40 度)

図 3.12: 光度分布 (赤色)

### 3.2.3 太陽光ファントム比

図 3.13 に示すようにランプユニット正面位置を 90 度回転させて水平に傾倒し中心軸から上方 10 度、距離 3m の位置から投光器を照射し点灯・非点灯時の輝度を測定する。中心軸から下方-5 度、-10 度と-15 度、距離 8.5m の位置に輝度計を設置し、その輝度を求める。ただし、投光器の光源を含まないように色レンズの表面に直径 45mm の円形ブラインドを付けている。

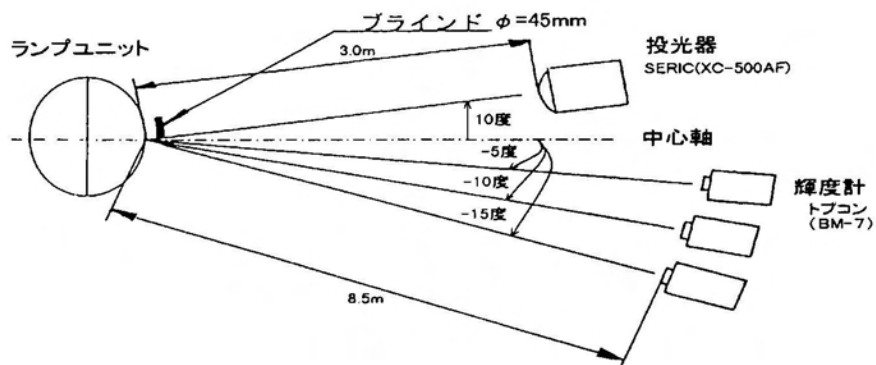


図 3.13: 太陽光ファントム比測定方法

太陽光ファントム比は、第 2 章で定義した式を用いて求めた。

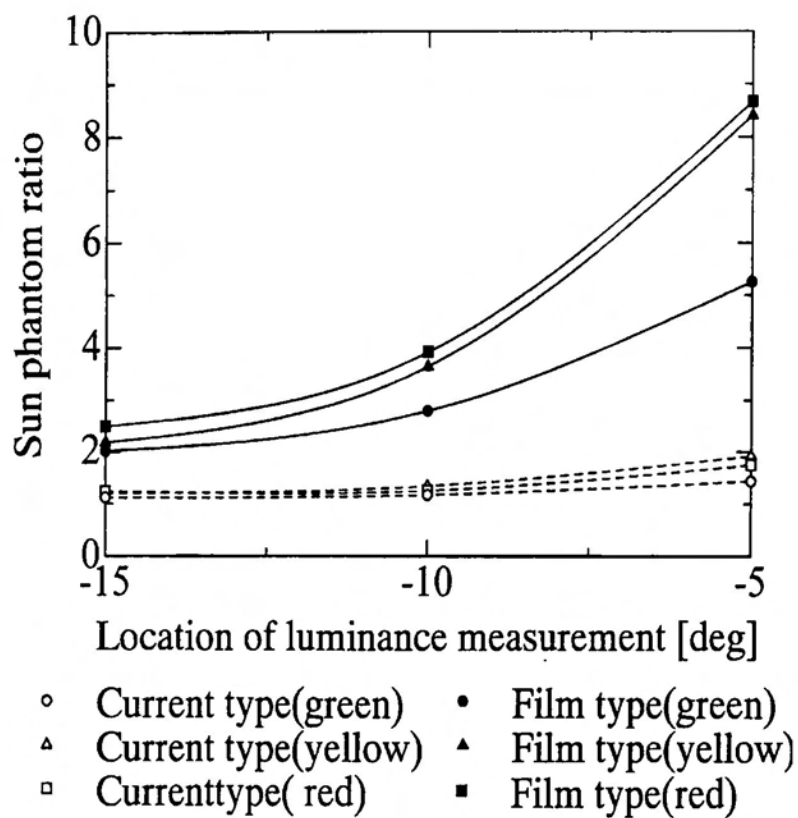


図 3.14: 太陽光ファントム比

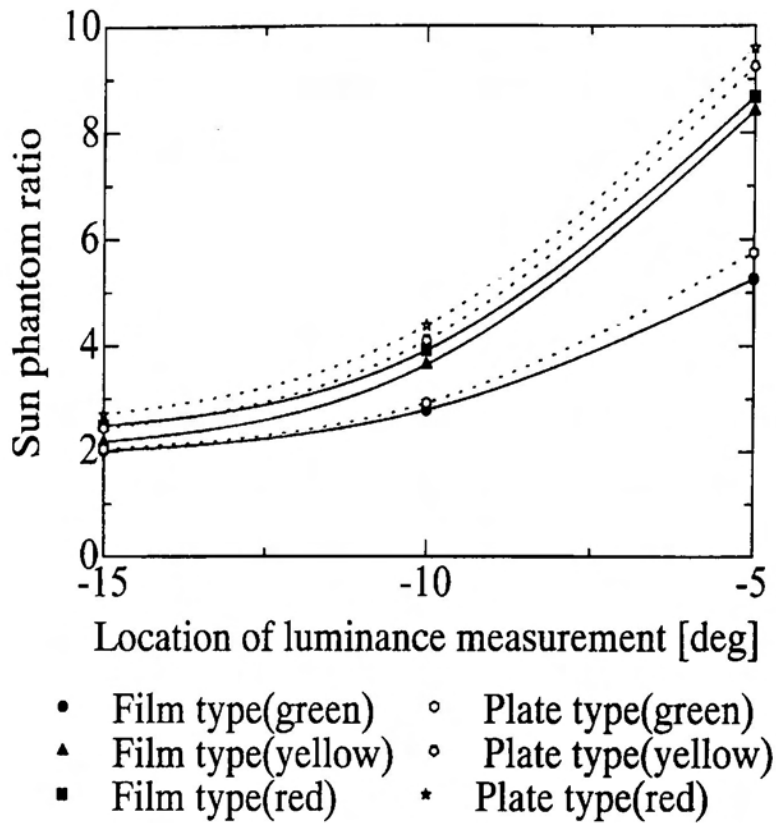


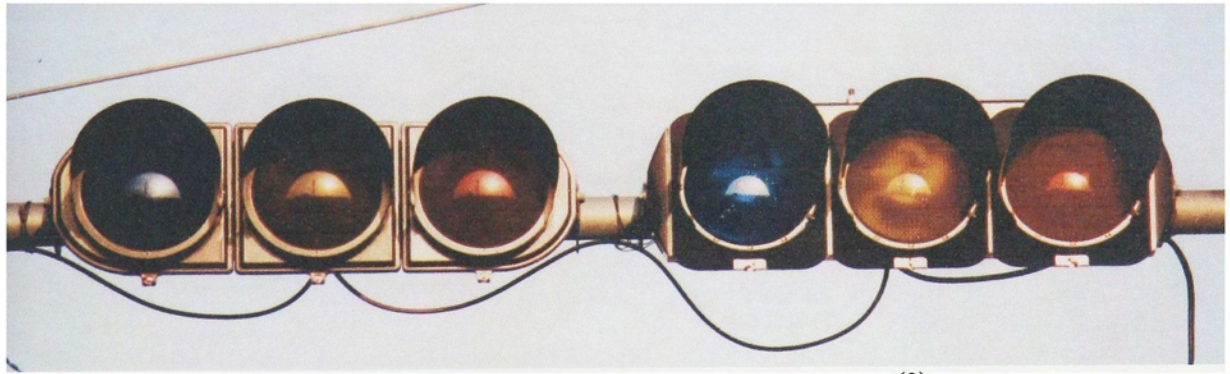
図 3.15: 太陽光ファントム比の比較

図 3.14 に太陽光ファントム比を示す。図 3.15 に遮光板型レンズユニットを装着した道路交通信号灯器と遮光膜型レンズユニットを装着した道路交通信号灯器の太陽光ファントム比の比較を示す。この図より遮光膜型レンズユニットを装着した道路交通信号灯器は、ほぼ同じ太陽光ファントム比を持っていることがわかる。

図 3.16, 図 3.17, 図 3.18, 図 3.19 は, 1999 年 5 月 20 日に太陽光度が 10 度から 15 度のとき, 信号灯表面を太陽光が 40,000[ $lx$ ] で照射しているときの写真を示す。左側が遮光膜型レンズユニットを装着した道路交通信号灯器で, 中央は疑似点灯防止が施されている道路交通信号灯器で, 右側が疑似点灯防止のない道路交通信号灯器である。

図 3.16, 図 3.17, 図 3.18, 図 3.19 は, それぞれ非点灯, 赤色点灯, 黄色点灯, 青色点灯の状態を示している。従来型の道路交通信号灯器は, 疑似点灯現象が起こり全色点灯しているように見える。また, 中央の疑似点灯防止が施されている道路交通信号灯器は, 疑似点灯防止のない道路交通信号灯器より遮光は出来ているが, 明暗のコントラストが遮光膜

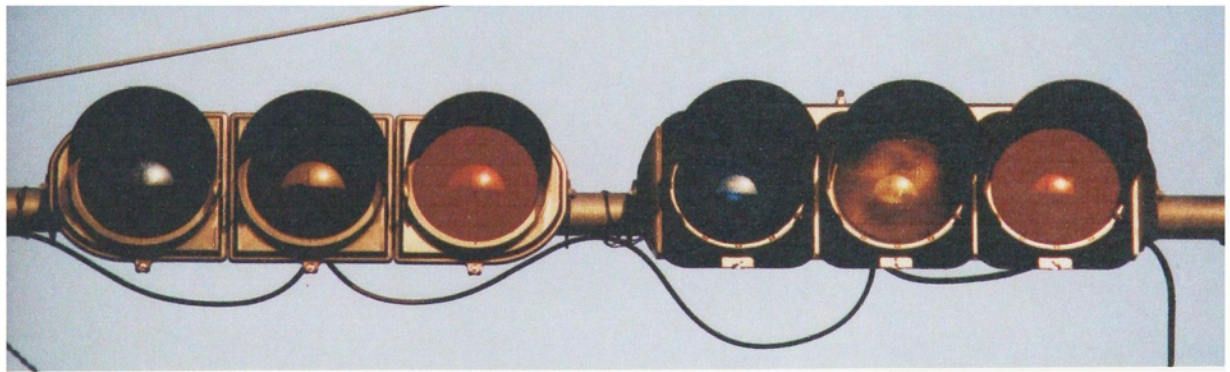
型道路交通信号灯器より悪い。これに対して、遮光膜型レンズユニットを装着した道路交通信号灯器は、太陽が光の点として一部分が少し光っているだけで、明暗のコントラストがはっきりしている。



(1)

(2)

図 3.16: 非点灯



(1)

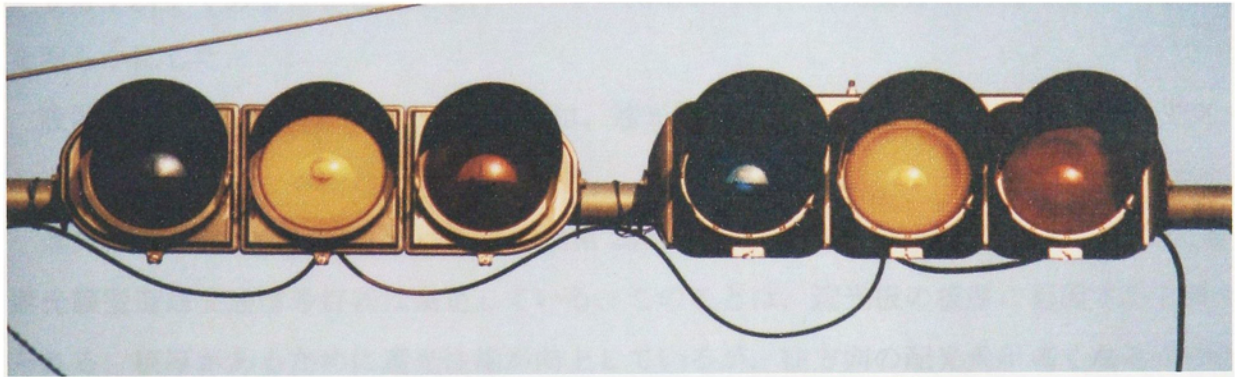
(2)

図 3.17: 赤色点灯

(1):遮光膜型道路交通信号灯器

(2):疑似点灯防止の無い道路交通信号灯器

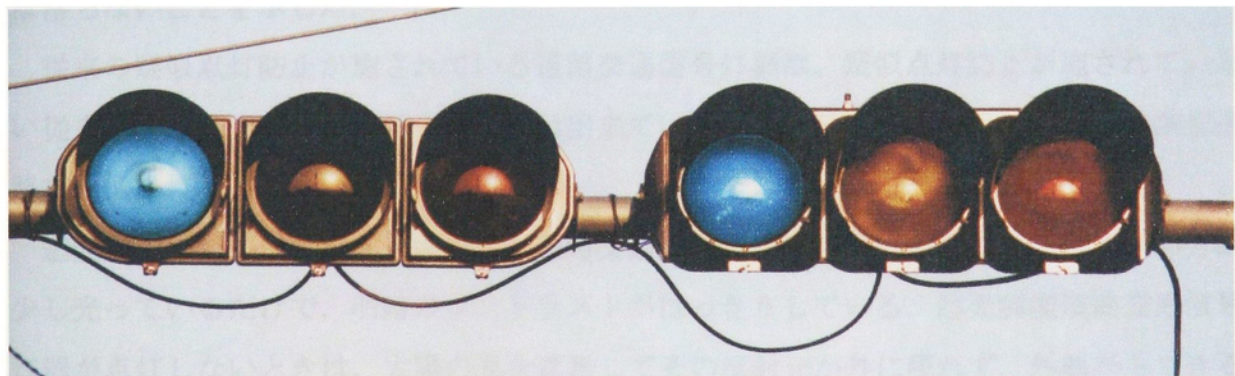




(1)

(2)

図 3.18: 黄色点灯



(1)

(2)

図 3.19: 青色点灯

(1):遮光膜型道路交通信号灯器

(2):疑似点灯防止の無い道路交通信号灯器

### 3.3 結論

この章において、遮光膜型レンズユニットを装着した道路交通信号灯器を設計した。

この遮光膜型道路交通信号灯器は、警交仕規第 23 号 [版 2] に示されている、輝度均斉度が 5 対 1 以下であることを満足し、すべての測定点において光度分布を満足していることを明らかにした。

設計された遮光膜型道路交通信号灯器は、遮光板型道路交通信号灯器と同等の太陽光ファントム比を持っていることを明らかにした。

遮光板型道路交通信号灯器は警交仕規第 23 号 [版 2] の光度表を満足していなかったが、遮光膜型道路交通信号灯器は満足している。このことは、遮光板の板厚に起因すると考えられる。板厚があるために遮光性能が向上しているが、縦方向の配光角が高くなるにつれて、板の厚さが光の入射を妨げている。よって、縦方向の配光角が 30 度以上になると、遮光板型レンズユニットの光度は急激に落ちると考えられる。したがって、遮光膜型レンズユニットは、黒インクをプリントしているので縦方向の配光角が 30 度以上になっても光度は落ちないことを示した。

従来の疑似点灯防止が施されている道路交通信号灯器は、疑似点灯防止が施されていない従来型の道路交通信号灯器より遮光は出来ているが、明暗のコントラストが遮光膜型道路交通信号灯器より悪いことを示した。

遮光膜型レンズユニットを装着した道路交通信号灯器は、太陽が光の点として一部分が少し光っているだけで、明暗のコントラストがはっきりしている。遮光膜型道路交通信号灯器が点灯しないときは、太陽の光を遮断してその反射光が外に現れず、外部からできるだけ暗黒色に見えることを示した。

点灯状態と非点灯状態の遮光膜型道路交通信号灯器の明暗のコントラストは、顕著でかつ点灯した色が一目で識別できることを示した。

## 第4章 遮光膜型歩行者用道路交通信号灯器の設計

この章において、遮光膜型歩行者用交通信号灯器の設計について述べる。

また、警察庁の定める警交仕規第30号[版2]には疑似点灯防止の規定がないため、現在警察庁で光度分布を含めた規定の見直しが進められている。

これに合わせて、警交仕規第30号[版2]の光度分布を満足し、疑似点灯防止の目安となる太陽光ファントム比の値が、従来型歩行者用信号灯器の3倍以上となる遮光膜型歩行者用信号灯器の設計を行う。次に、道路交通信号灯器に太陽が照射している状態を示し、点灯状態と非点灯状態の道路交通信号灯器の明暗のコントラストが、顕著でかつ点灯した色が一目で識別できることを示す。

### 4.1 遮光膜型歩行者用交通信号灯器の設計

#### 4.1.1 遮光膜型歩行者交通信号灯器の構造

図4.1は歩行者交通信号灯器の断面図で、筐体、ランプユニット(警交仕規第30号の名称によるレンズ、反射鏡、電球、ソケット等)と庇等で構成されている。ここでの警交仕規第30号の名称によるレンズは、人形の形をくり抜いたカラーフィルタを指している。以下、カラーフィルタと表記する。

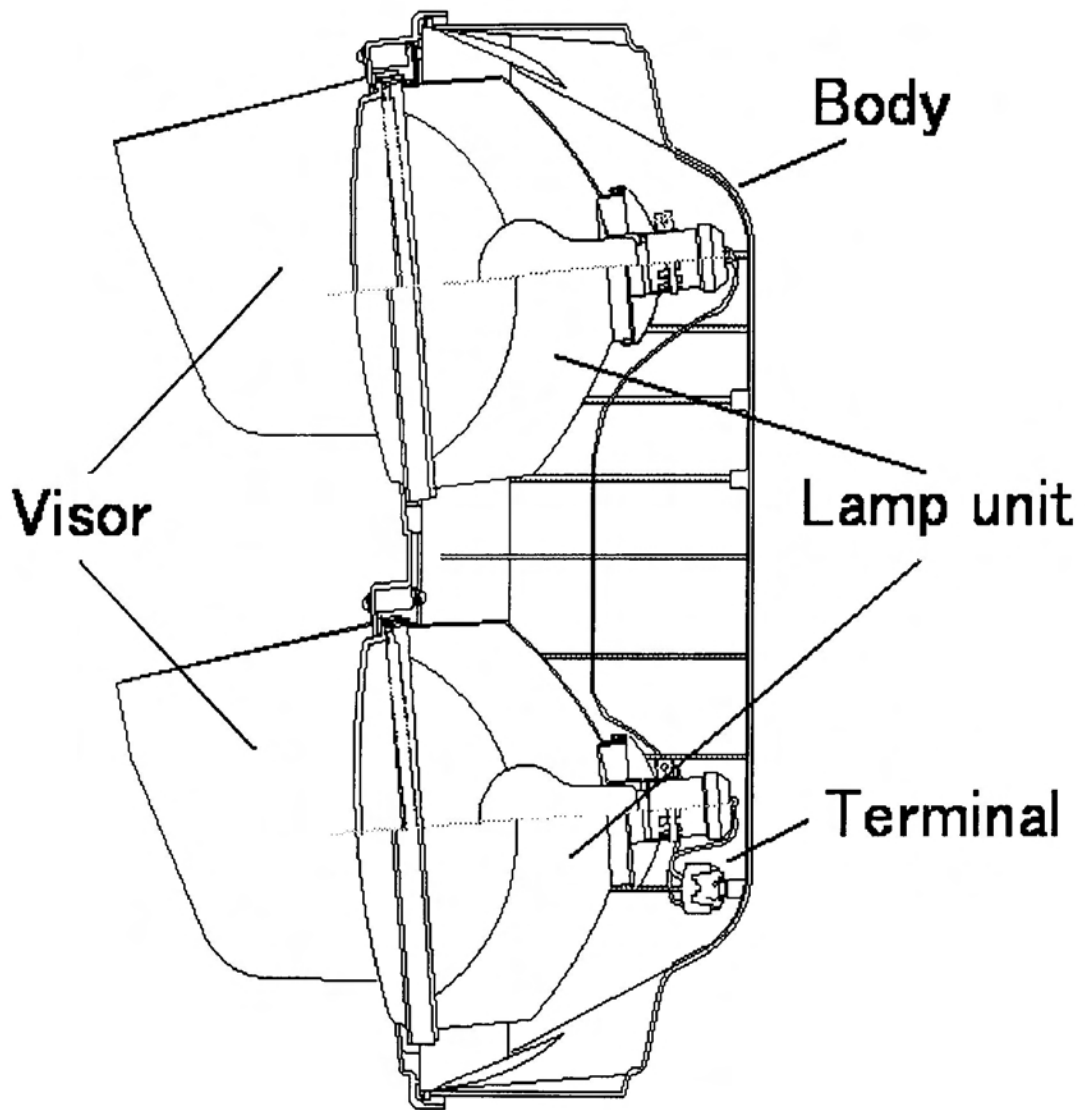


図 4.1: 歩行者交通信号灯器の断面図

図 4.2 はランプユニットの断面図で、人形の形をくり抜いた抜いたカラーフィルタ、反射鏡、レンズユニット、電球とソケット等で構成されている。

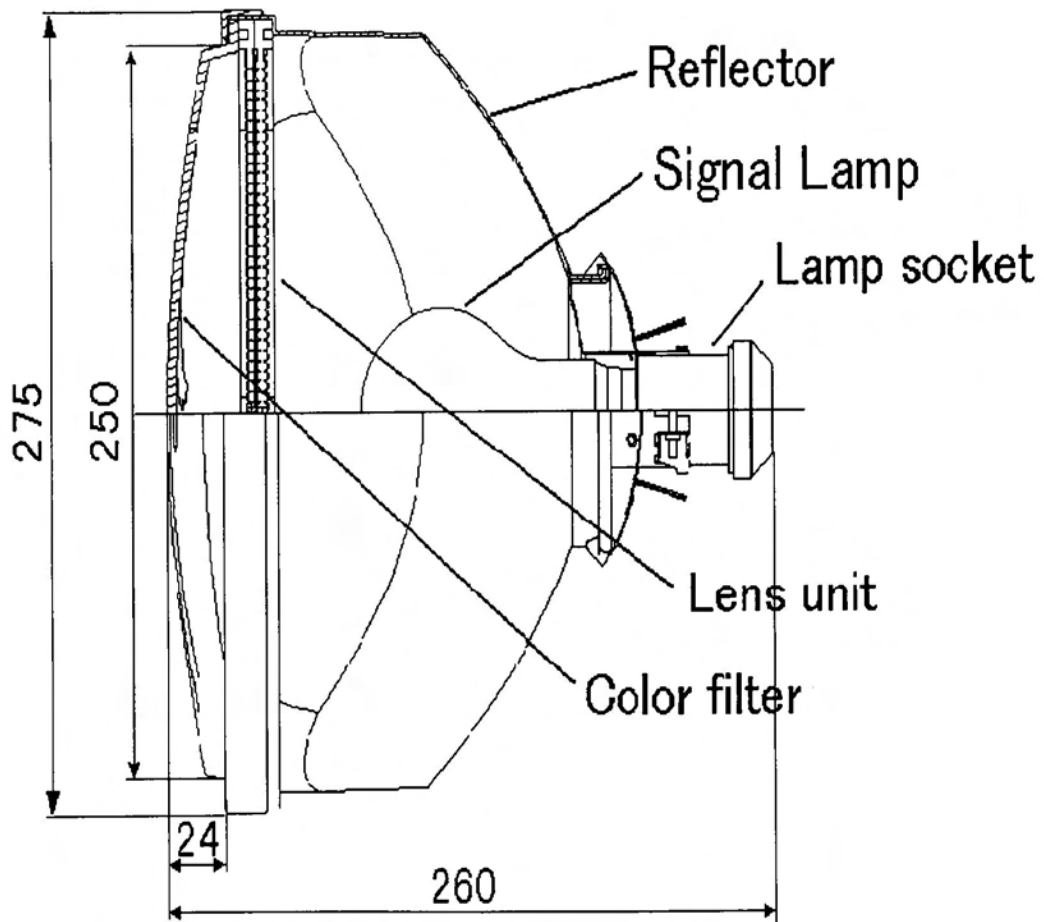


図 4.2: 遮光膜型歩行者ランプユニットの断面図 (単位:mm)

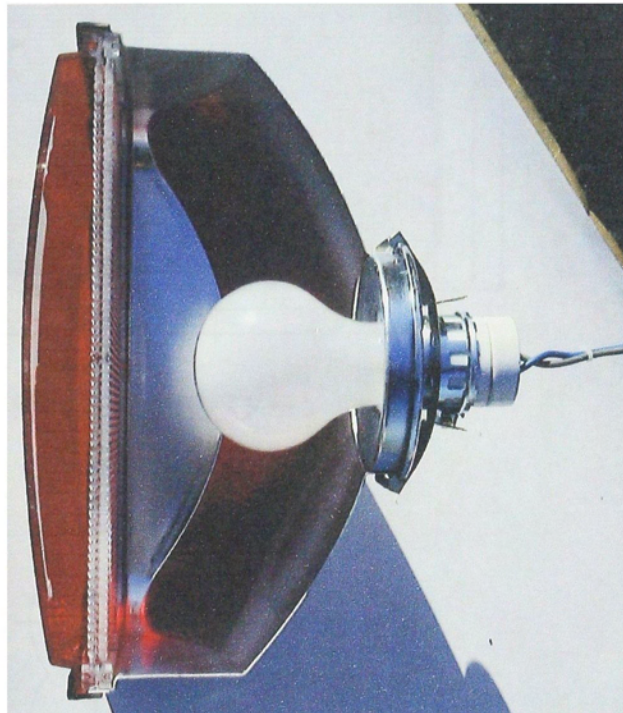


図 4.3: 遮光膜型歩行者ランプユニットの断面写真 [寸法は図 4.2 参照]

図 4.4 はポリカーボネート樹脂で製作した多眼球レンズユニット (レンズ一個の直径 5mm, 有効径 3.54mm) に, 有機溶剤系の黒インクを用いて作る遮光膜パターンである. また, 図 4.5 は断面図で, 球レンズの有効径下側に 1.2mm の幅で遮光膜を形成している. 図 4.6, 図 4.7 は遮光膜型レンズユニットの断面写真である.

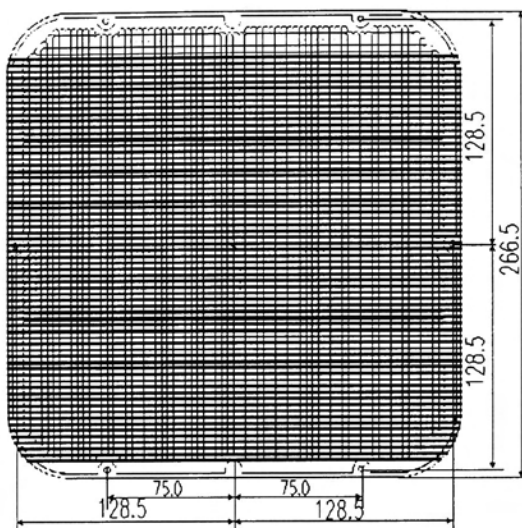


図 4.4: 遮光膜パターン (単位:mm)

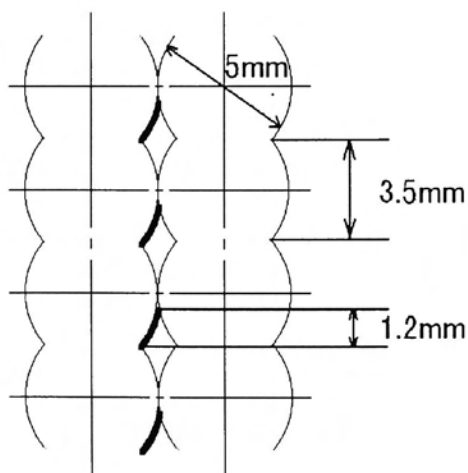


図 4.5: 遮光膜型レンズユニットの断面図

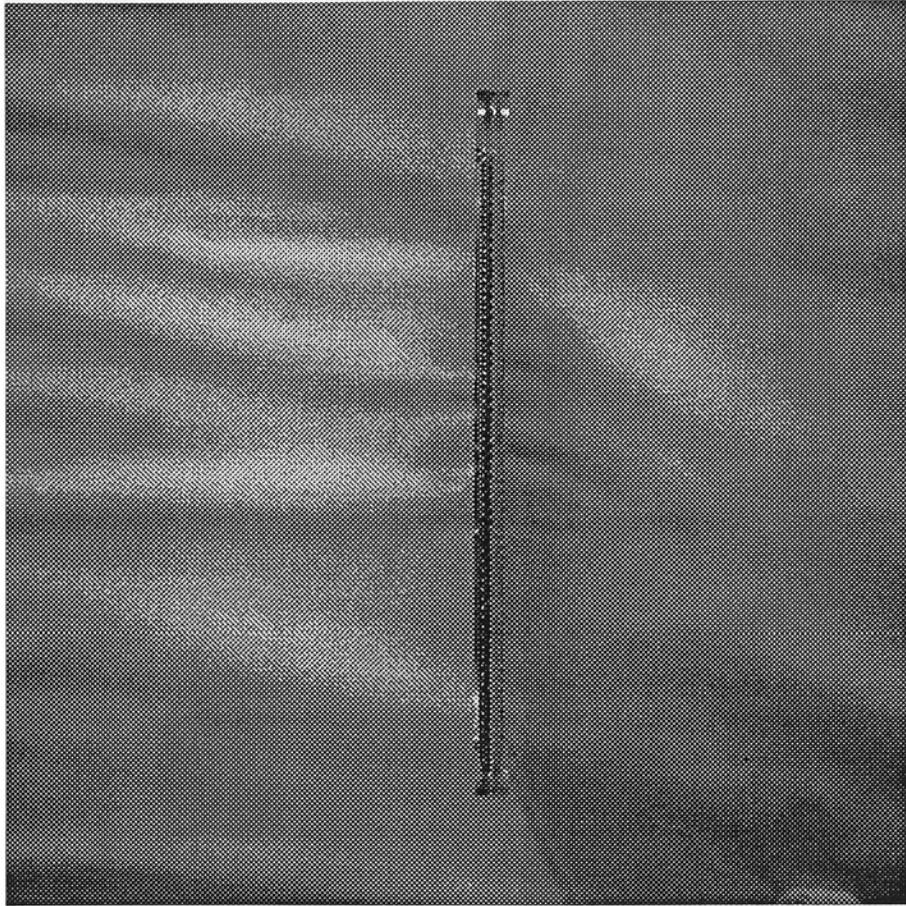


図 4.6: 遮光膜型レンズユニットの断面写真 (全体)[寸法は図 4.4 参照]



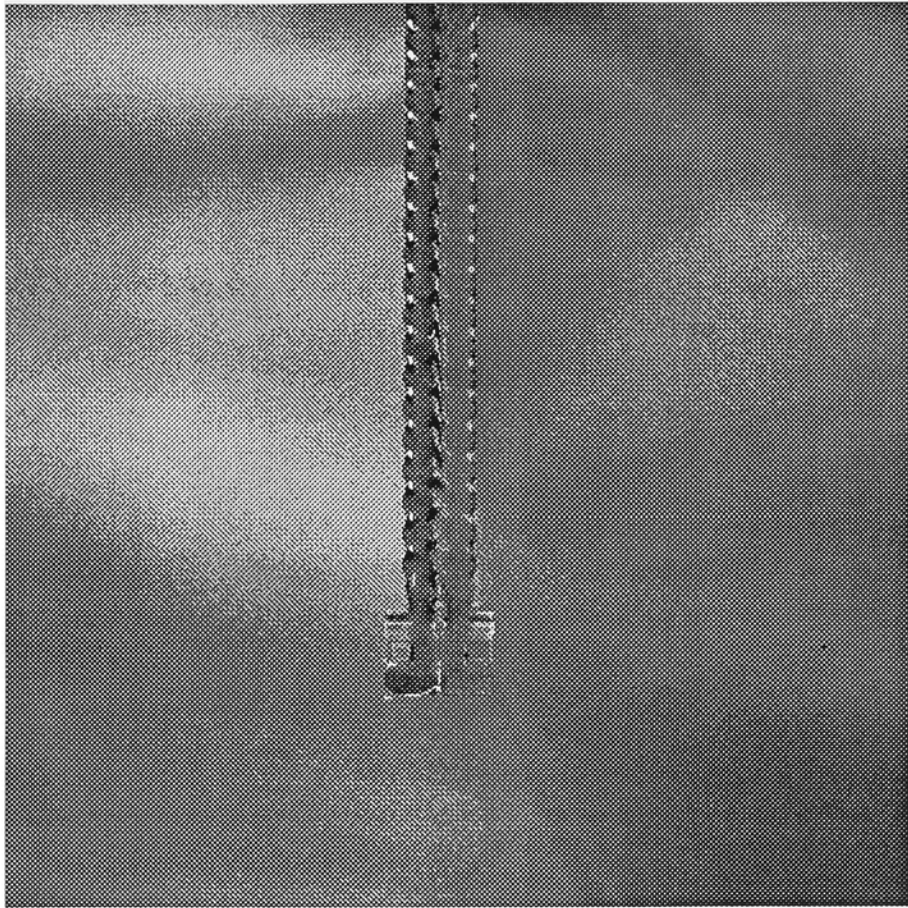


図 4.7: 遮光膜型レンズユニットの断面写真 (一部拡大)[寸法は図 4.5 参照]

従来型の歩行者用交通信号灯器(以下、従来型信号灯器と略記する)に、レンズユニット [図 4.4, 図 4.5] をランプユニットの位置 [図 4.2] に取り付ける。ランプユニットは筐体取り付け角度を下向き 4~5 度として装着している。

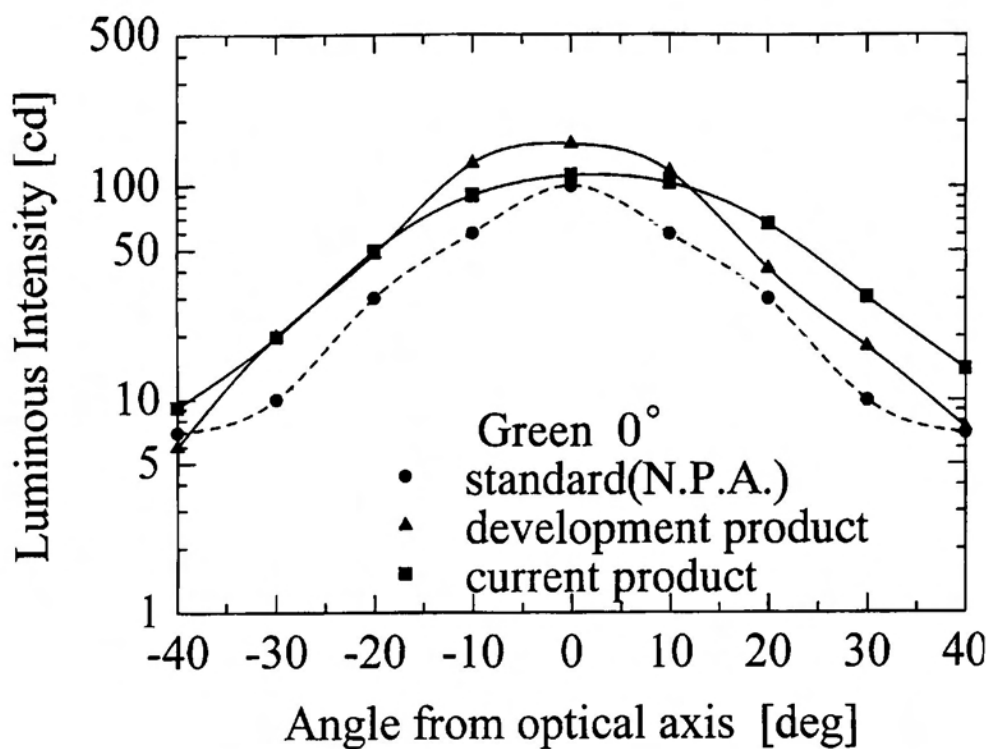
#### 4.1.2 実験方法

実験は、警察庁の定める警交仕規第 30 号 [版 2] に基づいて、交通信号器用電球を点灯したときフィラメントから 10m 前方の距離に輝度計を設置して測定する。主光軸を 0 度とし同仕様書の測定点を、輝度計 (トプコン BM-7) で測定して光度に換算する。なお警察庁の見直し案では 0 度より上方の光は、必要がないので光度規格から削除されている。このため測定を行っていない。

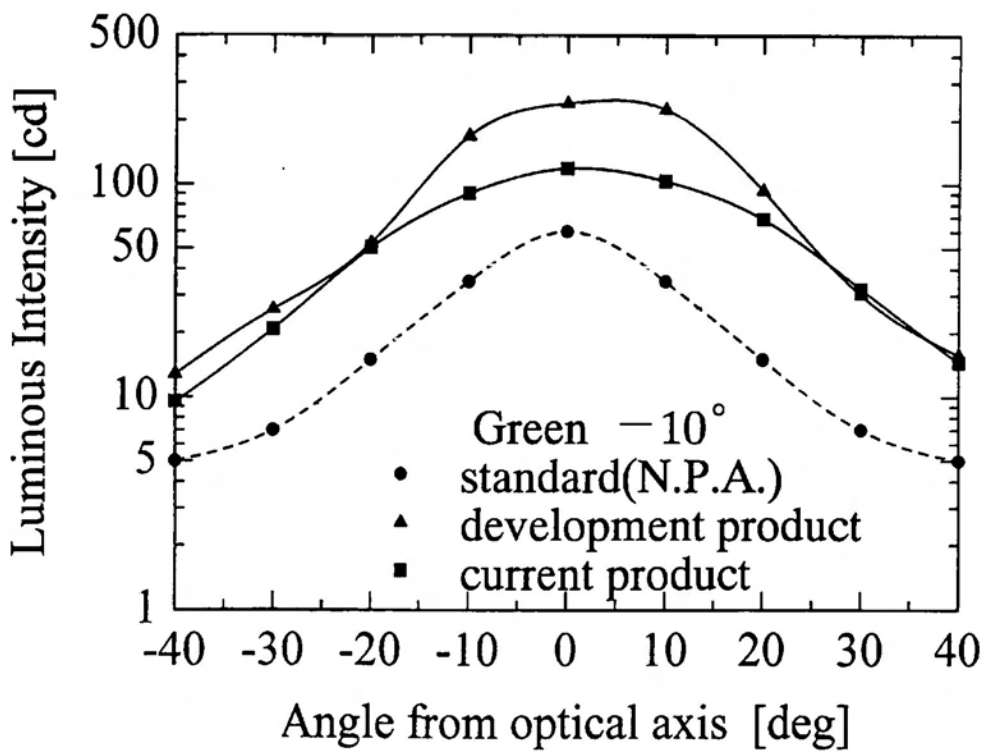
### 4.2 結果および考察

#### 4.2.1 光度分布

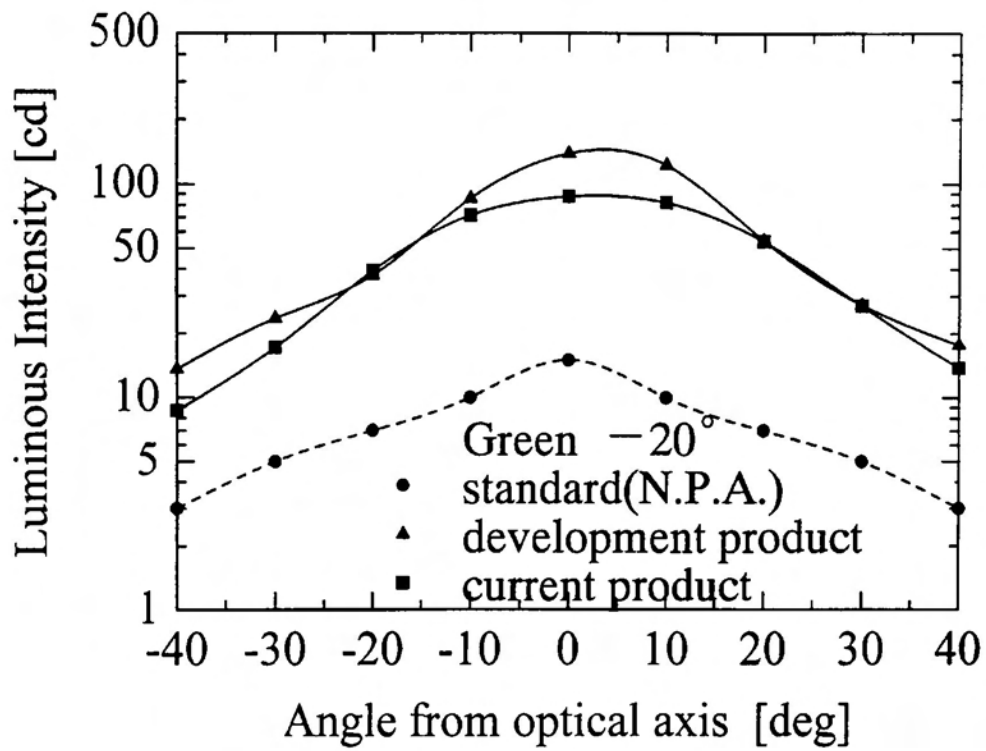
従来型信号灯器と今回設計を行った遮光膜付レンズユニットを装着した歩行者用交通信号灯器(以下、遮光膜型信号灯器と略記する)を、仕様書より測定点右方向を+、左方向を-、上方向を+、下方向を-とし従来型および遮光膜型信号灯器において測定を行った。その時の光度分布を図 4.8(青)と図 4.9(赤)に示している。



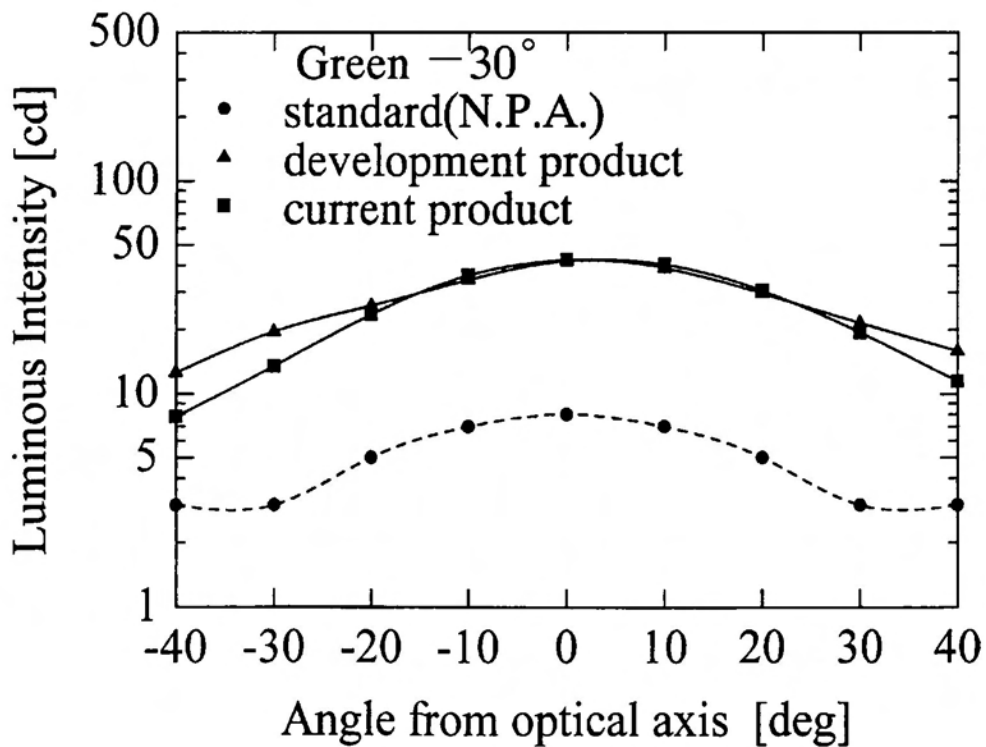
(a) 光軸からの配光角 (0度)



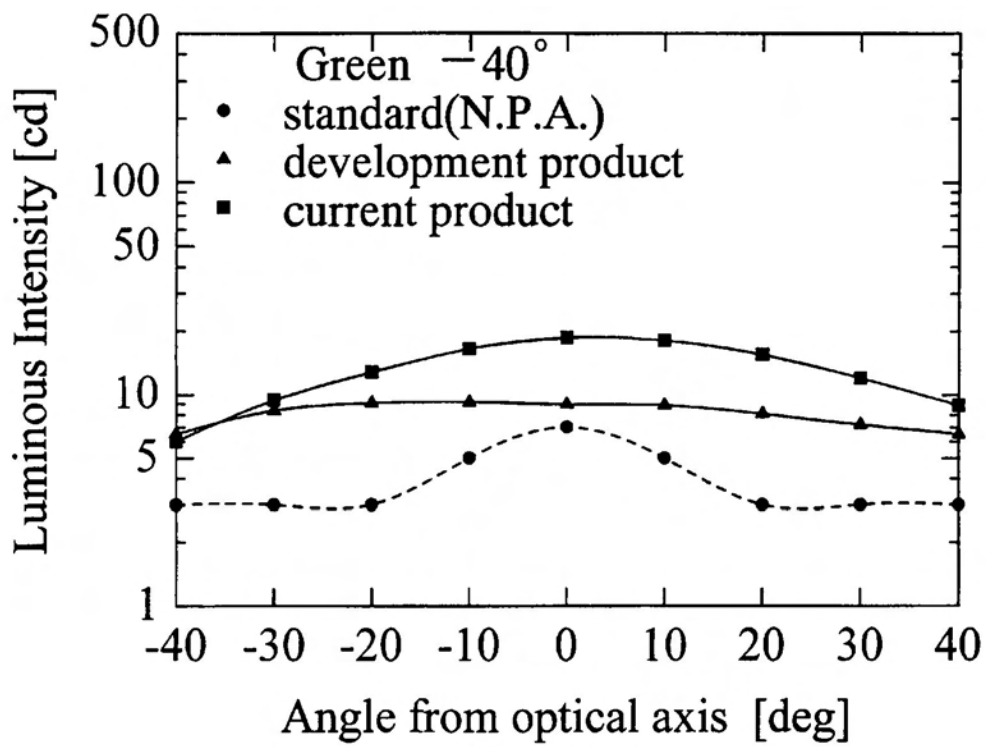
(b) 光軸からの配光角 (-10度)



(c) 光軸からの配光角 (-20 度)

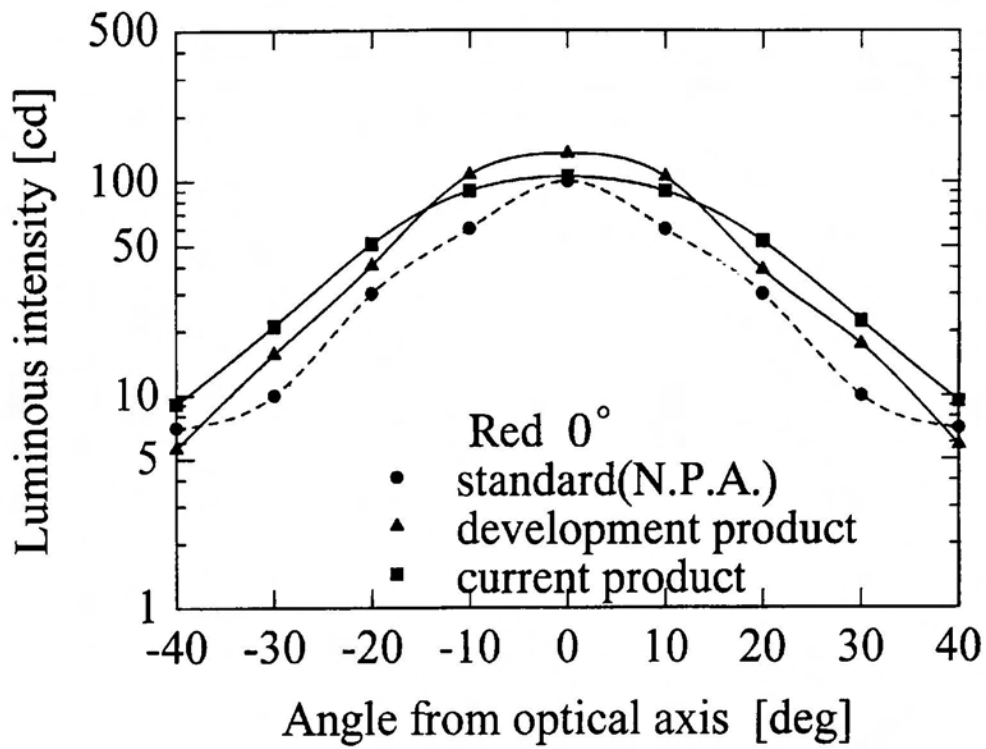


(d) 光軸からの配光角 (-30 度)

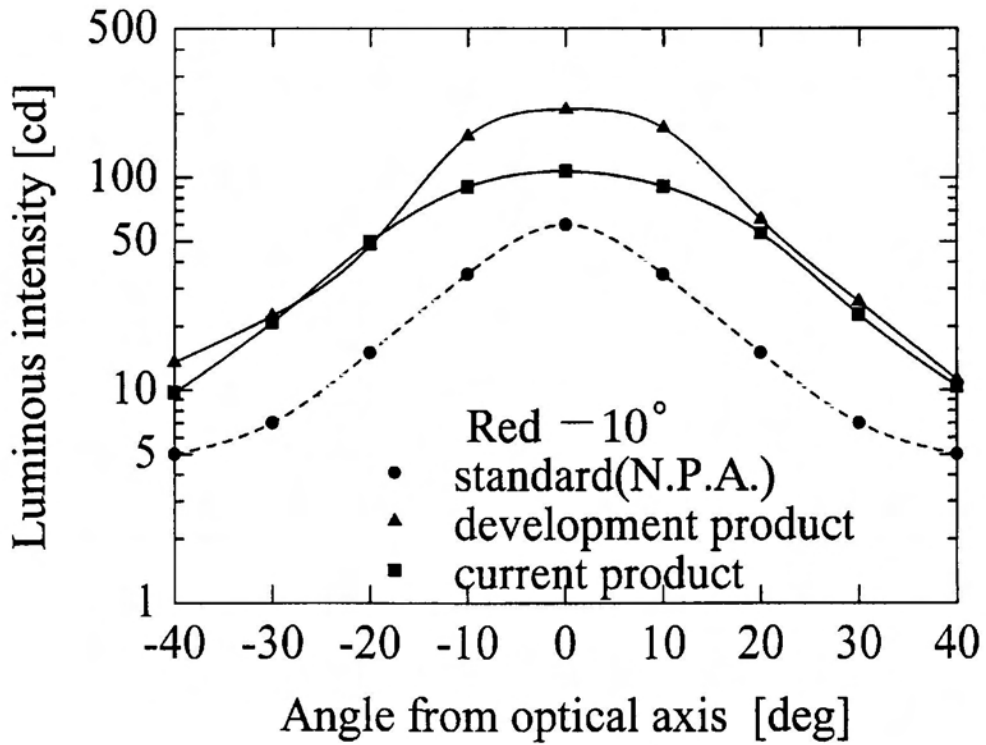


(e) 光軸からの配光角 (-40 度)

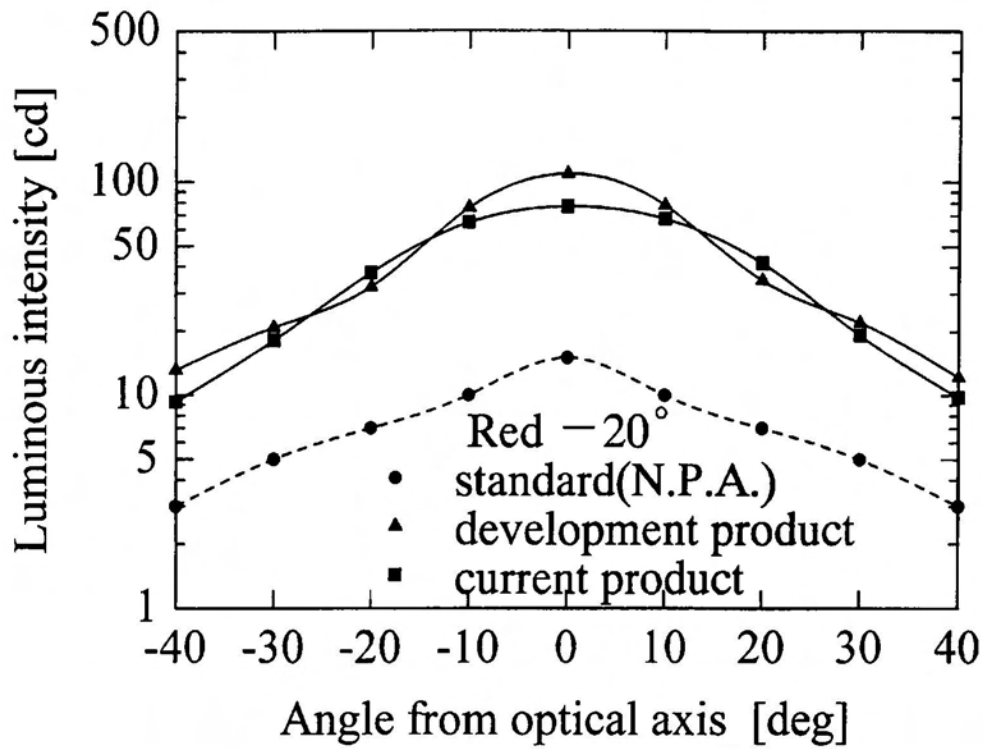
図 4.8: 光度分布 (青色)



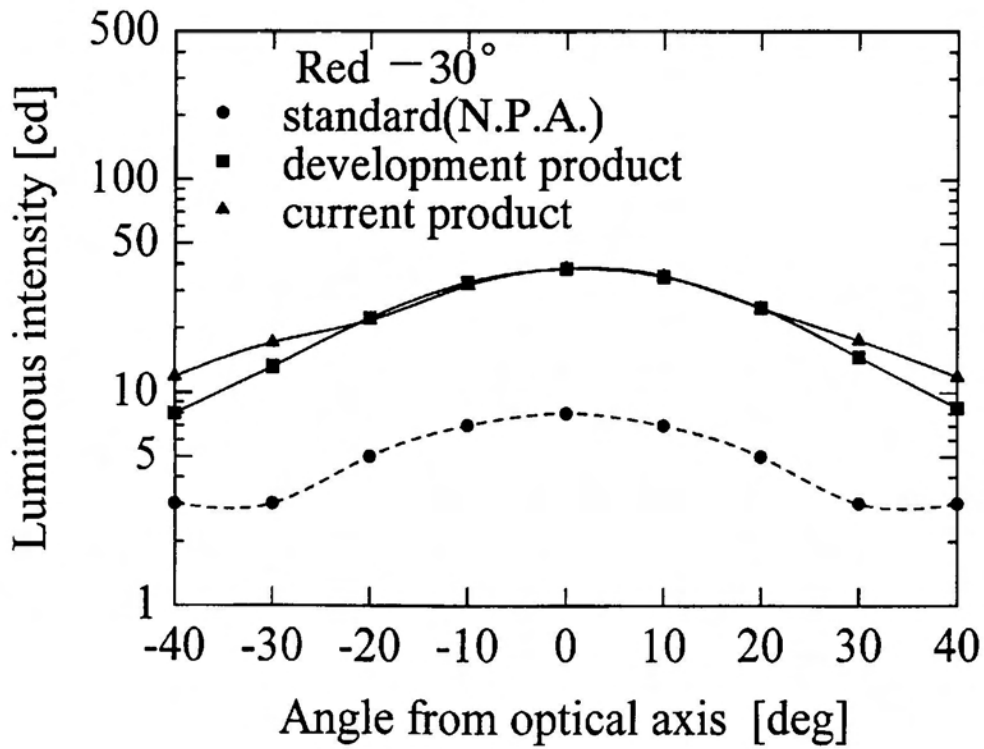
(a) 光軸からの配光角 (0度)



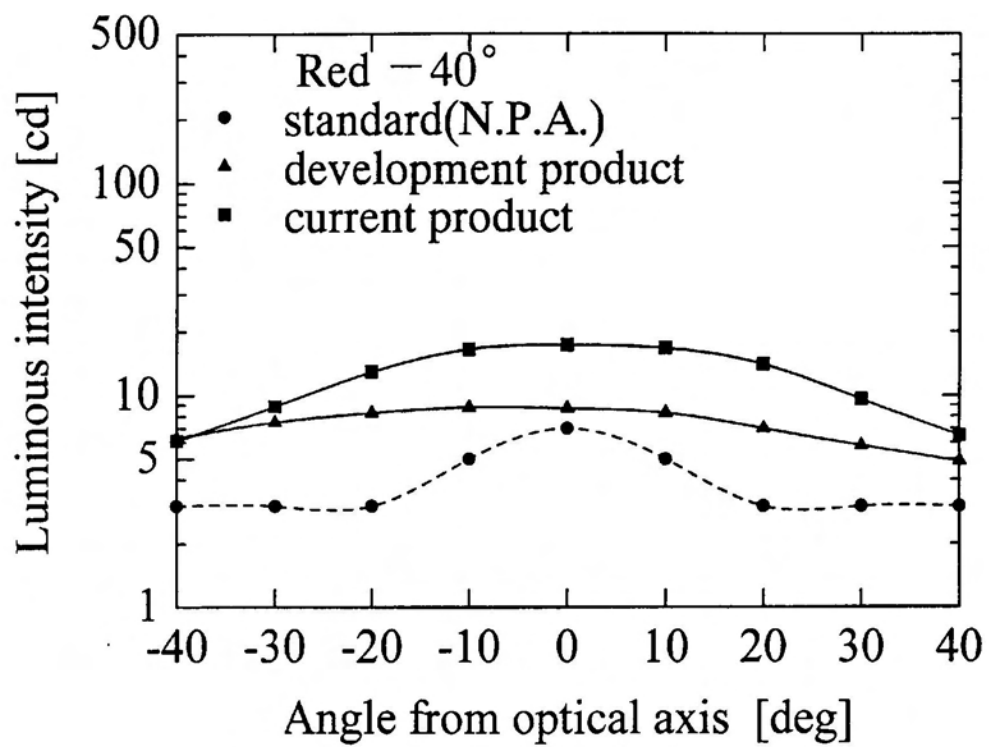
(b) 光軸からの配光角 (-10度)



(c) 光軸からの配光角 (-20 度)



(d) 光軸からの配光角 (-30 度)



(e) 光軸からの配光角 (-40 度)

図 4.9: 光度分布 (赤色)



それぞれの図において「standard」は警交仕規第 30 号 [版 2], 「current product」は従来型交通信号灯器, そして「development product」は遮光膜型信号灯器の光度を表している。また, 測定結果が青色灯器に関して左右対称でないのは, カラーフィルタの人形の形が左右対称でないためである。

図 4.8(a) と図 4.9(a) は, 光軸上の光度分布である。光軸より左右 40 度において, 従来型信号灯器は警交仕規第 30 号 [版 2] の光度表を十分に満足しているが, 遮光膜型信号灯器はレンズユニットを装着することで, レンズユニットの遮光膜の影響を受けるために, 光度表をわずかに満足していない。しかしながら, 光軸は道路上より 2.5[m] 上方にあり左右 40 度は運用上庇で見えないので, 遮光膜型信号灯器においても問題はない。

図 4.8 および図 4.9 の (b), (c) と (d) は, 光軸からの縦方向の配光角  $-10$  度,  $-20$  度と  $-30$  度の測定結果で, レンズユニット型交通信号灯器も従来型信号灯器と同等の光度を持ち, 警交仕規第 30 号 [版 2] の光度表を十分に満足している。

図 4.8 と図 4.9 の (e) において, 従来型信号灯器が遮光膜型信号灯器より光度が高いが, レンズユニットを装着したことにより, 遮光膜の影響をけるためであるが, 警交仕規第 30 号 [版 2] の光度表を十分に満足している。

ところで, 歩行者の信号灯器は大人だけでなく子供も使用する信号灯器である。したがって, 子供の信号灯器への仰角を考慮する必要がある。小学校入学年齢 6 歳児の平均身長 115[cm] における目の高さは約 100[cm] である。道路幅 8[m] の時の仰角は,  $14.7$  度であり, 信号灯器に近づくとつれ, 仰角は大きくなるが, 子供の視線の高さでも十分に満足している。

#### 4.2.2 太陽光ファントム比

太陽光ファントム比を求めるために, ランプユニットを  $90$  度回転させて水平に傾倒し中心軸から上方  $10$  度, 距離 3m の位置から投光器 (JP100V500WC/SB6V/N/E) を太陽光度  $10$  度に設定し, 点灯・非点灯時の輝度を  $5$  度,  $-10$  度と  $15$  度, 距離 8.5m の位置で測定した。ただし, 投光器の光源を含まないようにカラーフィルタの表面に直径 45mm の円形ブラインドを付けている。

また, 太陽光ファントム比は第 2 章で定義した式によって求めた。

図 4.10 に太陽光ファントム比を示す。

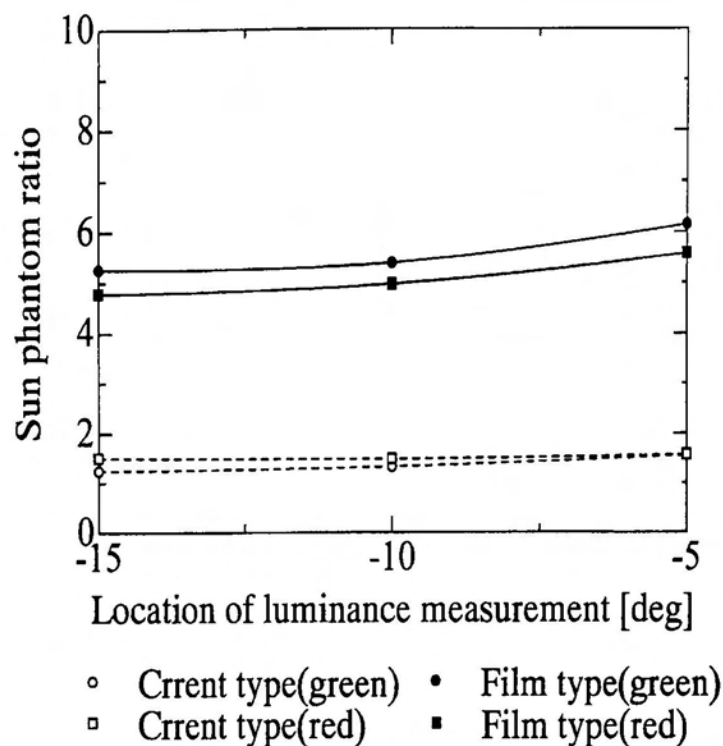


図 4.10: 太陽光ファントム比測定方法

-5度の太陽光ファントム比において、遮光膜型信号灯器は従来型信号灯器に対して青色では3.84倍、赤色では3.60倍である。また、光軸からの配光角-15度の測定を行ったのは、一般の上下一車線の交差点では、6歳児の視線での仰角は14.7度となる。従って光軸からの配光角-15度の時、遮光膜型信号灯器は従来型信号灯器に比べて青色では3.43倍、赤色では4.53倍になり、十分な効果が得られている。

図4.11と図4.12は、1999年5月20日に太陽光度が10度から15度の時に、信号灯器表面を太陽光が40000[lx]で照射している時の写真である。カメラはミノルタα3xiを用い10[m]の距離で正対したときに撮影を行った。左側は従来の信号灯器で、右側が遮光膜型信号灯器である。従来型信号灯器では太陽光線の照射で、疑似点灯現象が起こり、赤色も青色も点灯しているように見える。また、白色化現象も引き起こされ全体が白く光り輝いて人形の形も判別しにくい。

しかしながら、遮光膜型信号灯器は、太陽が光の点として一部分が少し光っているが疑似点灯現象は起きていないので、何色が点灯しているかは明らかであり、人形の形も明確である。

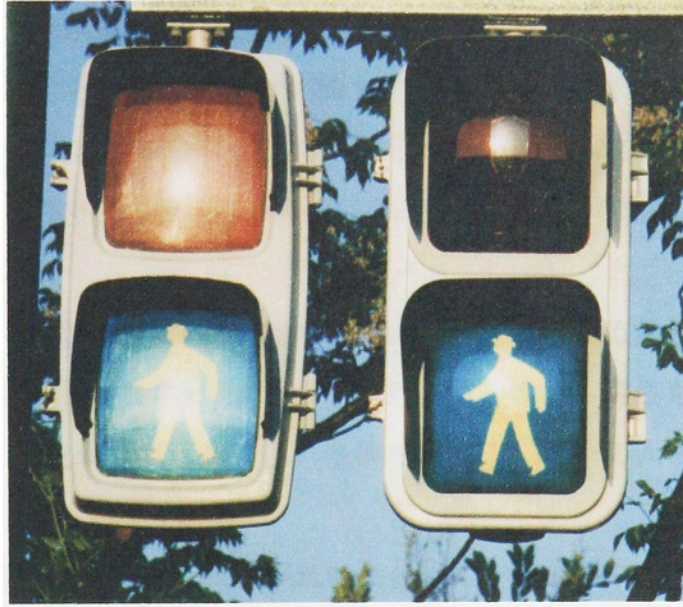


图 4.11: 青色点灯

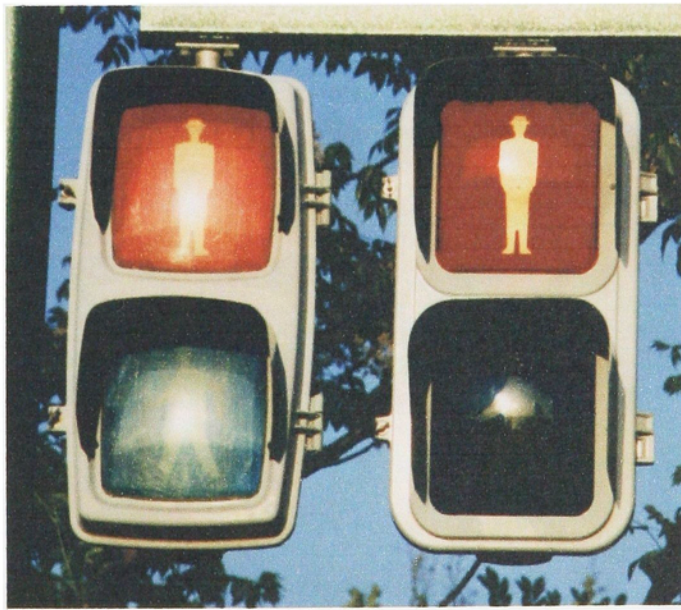


图 4.12: 赤色点灯

## 4.3 結論

この章において、遮光膜型レンズユニットを装着した、歩行者用信号灯器の設計を行った。遮光膜型信号灯器は、警交仕規第30号[版2]の主たる光度分布を満足した。

太陽光ファントム比では従来型の歩行者用信号灯器の値を3倍以上である事を明らかにした。また、小学校入学年齢6才児の視線でも太陽光ファントム比は、4対1以上であることを明らかにした。

次に、遮光膜型歩行者用信号灯器表面を太陽光が照射している状態を示した。従来型信号灯器では太陽光線の照射で、疑似点灯現象が起こり、赤色も青色も点灯しているように見える。また、白色化現象も引き起こされ全体が白く光り輝いて人形の形も判別しにくいことを示した。

遮光膜型歩行者用信号灯器は、太陽が光の点として一部分が少し光っているが疑似点灯現象は起きていないので、何色が点灯しているかは明らかであり、人形の形も明確であることを示した。

## 第5章 結言

本論文では、遮光板型と遮光膜型の車両用道路交通信号灯器および遮光膜型歩行者用道路交通信号灯器の設計を、次の3条件として行った。

1. 車両用道路交通信号灯器のある色が非点灯のときは、太陽光を遮断してその反射光が外に現れず、外部から出来るだけ暗黒色に見えること。
2. 車両用道路交通信号灯器のある色が点灯のときは、点灯色と非点灯色との明暗のコントラストが顕著でかつ点灯色が明るく明確に見えること。
3. 歩行者用道路交通信号灯器において色の白色化を防ぎ、点灯色と非点灯色の明確な区別とともに人形の形も明確になること。

第1章では、研究の背景と目的を述べるとともに、研究の意義付けを明確にした。

第2章においては、警視庁の定める警管仕第4号の光学特性を満足する遮光板型道路交通信号灯器の設計を行ない、以下のことを明らかにした。

1. 多眼球レンズユニットの設計を行なう上で、光線軌跡法によるシミュレーション解析を行い最適な設計数値を求め、多眼球レンズおよび遮光板の設計・試作を行った。
2. 遮光板型レンズユニットを、道路交通信号灯器に装着したことにより、警管仕第4号“疑似点灯防止ランプユニット仕様書”の光度特性を満足することを明らかにした。
3. 太陽光ファントム比を定義し、疑似点灯防止を施していない道路交通信号灯器より5度の時で最大5倍、-10度の時で最大4倍、15度の時で最大2.7倍になることを明らかにした。
4. 道路交通信号灯器が点灯しないときは、太陽の光を遮断して、その反射光が外に現れず、外部から出来るだけ暗黒色に見えることを示し、条件1.を満足することを明らかにした。
5. 点灯状態と非点灯状態の道路交通信号灯器の明暗のコントラストは、顕著でかつ点灯

した色が一目で識別できることを示し、条件 2.、条件 3. を満足することを明らかにした。

第 3 章においては、第 2 章で満足できなかった警察庁の定める警交仕規第 23 号 [版 2] の光学特性を満足する遮光膜型道路交通信号灯器の設計を行い、以下のことを明らかにした。

1. この遮光膜型道路交通信号灯器は、警交仕規第 23 号 [版 2] に示されている、輝度均斉度とすべての測定点において光学特性を満足していることを明らかにした。
2. 遮光板型道路交通信号灯器は警交仕規第 23 号 [版 2] の光度表を満足していなかったが、遮光膜型道路交通信号灯器は満足している。このことは、遮光板の板厚に起因すると考えられる。板厚があるために遮光性能が向上しているが、縦方向の配光角が高くなるにつれて、板の厚さが光の入射を妨げている。よって、縦方向の配光角が 30 度以上になると、遮光板型レンズユニットの光度は急激に落ちると考えられる。したがって、遮光膜型レンズユニットは、黒インクをプリントしているので縦方向の配光角が 30 度以上になっても光度は落ちないことを示した。
3. 設計された遮光膜型道路交通信号灯器は、遮光板型道路交通信号灯器と同等の太陽光ファントム比を持っていることを明らかにした。
4. 遮光膜型レンズユニットを装着した道路交通信号灯器は、太陽が光の点として一部分が少し光っているだけで、明暗のコントラストがはっきりしている。遮光膜型道路交通信号灯器が点灯しないときは、太陽の光を遮断して、その反射光が外に現れず、外部から出来るだけ暗黒色に見えることを示し、条件 1 を満足していることを明らかにした。
5. 点灯状態と非点灯状態の遮光膜型道路交通信号灯器の明暗のコントラストは、顕著でかつ点灯した色が一目で識別できることを示し、条件 2.、条件 3. を満足することを明らかにした。

第 4 章においては、警察庁の定める警交仕規第 30 号 [版 2] の光学特性を満足する遮光膜型歩行者用信号灯器の設計を行い、以下のことを明らかにした。

1. 遮光膜型信号灯器は、警察庁の定める警交仕規第 30 号 [版 2] の光学特性を満足していることを明らかにした。

2. 太陽光ファントム比では従来型の歩行者用信号灯器の値を3倍以上である事を明らかにした。また、小学校入学年齢6才児の視線でも太陽光ファントム比は、4対1以上であることを明らかにした。
3. 遮光膜型歩行者用信号灯器は、太陽が光の点として一部分が少し光っているが疑似点灯現象は起きていないので、何色が点灯しているかは明らかであり、人形の形も明確であることを示し、条件1., 条件2., 条件3., を満足することを明らかにした。

# 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、研究の機会を与え、終始懇切丁寧なご指導を賜った九州工業大学工学部 下村 輝夫 教授に心から深く感謝致します。また、本論文をまとめるに際して、貴重な御教示と御鞭撻を賜った九州工業大学工学部 徳田 正満 教授、西垣 敏 教授、松岡 清利 教授に深く感謝致します。

なお、北九州工業高等専門学校 坂本 正史 校長、機械工学科 教官各位には、数々便宜を図っていただき厚く御礼申し上げます。

また、信号電材株式会社 糸永 嶋 代表取締役会長、糸永 一平 代表取締役社長、技術部 進藤 直行 部長、技術部 興梠 正弘 係長、技術部各位には、数々のお力添えと便宜を図っていただき厚く御礼申し上げます。



## 参考文献

- [1] 京三製作所：「京三製作所 70 年史」，京三製作所,p.81,pp.136-173 (1988).
- [2] BS1376：”Colours of light signals (1947).
- [3] Publication CIE No.2 (W.1.3.3) Colours of light signals (1959).
- [4] 正木光：「視覚信号と CIE 技術委員会」，照学誌,64-6,pp.275-280(1980).
- [5] Publication CIE No.2.2 (TC-1.6) Colours of light signals (1975).
- [6] Publication CIE No.48 (TC-1.6) Colours signal for road traffic contral (1980).
- [7] 高橋貞夫：「CIE/ISO 標準について」，日本照明委員会誌,12-1,pp.6-7 (1995).
- [8] 高橋貞夫：「CIE/ISO DS 004.2/E”Colourrs of Signal Light”の経過報告」，日本照明委員会誌,13-4,pp.6-7 (1996).
- [9] 正木光：「信号灯の色」，照学誌,43-2,pp.60-63(1959).
- [10] 正木光，古屋智正，辻本寛三，海谷恒夫，稲垣襄二：「道路交通信号灯の見え方」，照学誌,56-2,pp.49-55(1972).
- [11] 池田光男：「視覚と視環境研究委員会報告－信号灯の色－」，照学誌，66-7,pp.274-279(1982).
- [12] 阿山みよし，高橋濤子，片寄隆正，高須陽介：「交通信号灯の色度範囲の色の見え方」，照学誌，66-10,pp.445-449(1982).
- [13] 中嶋芳雄：「昼間，薄暮および夜間における交通信号灯の見え方」，照学誌,72-2,pp.109-114(1988).

- [14] 信号灯の色の分布に関する研究調査委員会：「信号灯の色の分布に関する研究調査委員会報告書」, JIER-014(1989).
- [15] 河合悟：「道路交通信号」, 照学誌, 71-3, pp.204-209(1987).
- [16] 石倉丈士, 山川俊幸, 杉山幸司, 内田和夫, 増田恭久：「交通事故例調査データを活用した夜間の歩行者事故と光環境に関する調査」, 第30回照明学会全国大会論文集, pp.276-277(1997).
- [17] 石倉丈士, 江湖俊介：夜間の歩行者空間における安心感の研究, 第31回照明学会全国大会論文集, p.293(1998).
- [18] J.R.Head, R.Leathersich and H.Purdie: "The use of microwave vehicle detectors with traffic signals" Traffic Engineering+Control, 38-1, pp.13-15(1997).
- [19] Kenneth Todd: "Trade-offs in Progressive Signal Systems" ITE Journal, 65-3, pp.46-49(1995).
- [20] Mark M. Uslan, Alec F. Peck and William Waddell: "Audible Traffic Signals: How Useful Are They" ITE Journal, 58-9, pp.37-43(1998).
- [21] 警察庁：「金属製車輛用交通信号灯器仕様書・警交仕規第23号[版2]」, 昭和61年4月.
- [22] 警視庁：「疑似点灯防止ランプユニット仕様書・警管仕第4号」, 平成元年6月.
- [23] 宮内真人, 下村輝夫, 力丸誠：「球レンズの光線軌跡法による評価」, 九州支部連合大会論文集, 534 (1993).
- [24] T. Shimomura, K. Morita and K. Uetakaya: "New Traffic Signal Without False Light", Proc. 2nd LUX PACIFICA: Lighting Conference, pp. B40-B44 (Oct.1993).
- [25] M. Miyauchi, T. Shimomura : "Road Traffic Signal Head without False-Light", 北九州高専研究報告, 第31号, pp.29-32 (1998).
- [26] 宮内真人, 下村輝夫, 興梶政広, 進藤直行：「道路交通信号灯器の伝熱特性」, 照学誌, 81-5, pp.415-419(1997).

- [27] 宮内真人, 胡志良, 森田一浩, 下村輝夫:「信号灯における多眼球レンズの伝熱特性」, 九州支部連合大会論文集, 844 (1994).
- [28] 宮内真人, 森田一浩, 下村輝夫:「車両用交通信号灯の伝熱特性」, 九州支部連合大会論文集, 1417 (1995).
- [29] M. Miyauchi, K. Tanaka and T. Shimomura : "A Proposal of Road Traffic Signal Head's Control System", The Fifth ICARCV '98, Proceedings Vol.2, pp. 1711-1714 (1998-12)
- [30] 宮内真人, 下村輝夫, 興梠政広, 進藤直行:「道路交通信号灯器の光度分布」, 照学誌, 82-11, pp.917-920(1998).
- [31] 宮内真人, 下村輝夫, 興梠政広, 進藤直行:「道路交通信号灯器の光度分布特性」, 第31回照明学会全国大会論文集, 175(1998).
- [32] 宮内真人, 下村輝夫, 日高良和:「道路交通信号灯器の光度特性」, 北九州高専研究報告, 第32号, pp.25-31 (1999).
- [33] 宮内真人, 下村輝夫, 興梠政広, 進藤直行:「遮光膜型レンズユニットを有する道路交通信号灯器の開発」, 照明学会投稿中.
- [34] 警察庁:「金属製歩行者用交通信号灯器仕様書・警交仕規第30号 [版2]」, 平成6年11月.
- [35] 宮内真人, 下村輝夫, 興梠政広, 進藤直行:「歩行者用交通信号灯器の白色化現象」, 電気関係学会九州支部連合大会論文集, 504 (1999).
- [36] 宮内真人, 下村輝夫, 興梠政広, 進藤直行:「遮光膜型歩行者用交通信号灯器の光度特性と太陽光ファントム比」, 照明学会投稿中.
- [37] 田中宗信, 田川龍文:「わかる熱力学」, 日新出版, pp.102-116, 1996.
- [38] 関信弘 編:「伝熱工学」, 森北出版, pp.7-10, pp.87-109, 1993.
- [39] 日本機械学会:「伝熱ハンドブック」, 日本機械学会, pp.91-94, 1993.
- [40] 一色尚次, 北山直方:「伝熱工学」, 森北出版, pp.74-86, 1992.

# 付 録 A 道路交通信号灯器仕様書

道路交通信号灯器仕様書には、警察庁の定める金属製交通信号灯器仕様書と樹脂製交通信号灯器仕様書がある。

今回用いたものは、金属製車両用交通信号灯器と金属製歩行者用交通信号灯器、ランプユニットの仕様書は、警視庁の定める疑似点灯防止型ランプユニット仕様書に則って設計を行った。

警察庁の定める金属製車両用交通信号灯器仕様書・警交仕規第 23 号 [版 2] と、金属製歩行者用交通信号灯器・警交仕規第 30 号 [版 2]，ならびに警視庁の定める疑似点灯防止型ランプユニット仕様書・警管仕第 4 号の必要なところについて述べる。

## A.1 金属製車両用交通信号灯器仕様書

### 警交仕規第 23 号 [版 2]

#### A.1.1 総 則

##### A.1.1.1 適用範囲

本仕様書は、道路の交差点において信号制御器と組合わせて、車両等の交通流を整理するための金属製の信号灯器に適用する。

##### A.1.1.2 品名

本器の品名は、次のとおりとする。

金属製車両用交通信号灯器

### A.1.1.3 一般事項

本仕様書に規定されていない事項で、法令、規則、技術基準等に規定されている事項については、その規定に従うものとする。

## A.1.2 設計条件

### A.1.2.1 一般条件

1. 本器は、対面する車輛の運転者に対し、極力外部条件の影響を受けることなく、良好な視認性を保つこと。
2. 信号表示は、白昼においても点滅状態が明確に区別でき、直射日光等によって、まぎらわしい状態にならないこと。
3. 交差点において、通常生ずる環境で、連続運転しても異常なく動作し、長期の使用に耐えること。
4. 保守が容易で年1回の簡易な点検、清掃により、異常なく動作すること。
5. 屋外施設として堅牢かつ優美であること。

### A.1.2.2 機械的条件

1. 本器は秒速 50m の風速に耐えること。
2. 本器に、全振幅 2.0m 毎分 300～1,200 回の正弦波振動を上下、左右、前後の各方向に 30 分間加えても、機械的、電氣的に異常を生じないこと。なお、振動数の変化の周期は約 3 分とする。ただし、試験は電球を抜いて行う。

### A.1.2.3 電氣的条件

1. 次の試験条件で電氣的に異常なく動作すること。

周囲温度      - 20～+ 60 °C

相対湿度      40～90 %

電気電圧      AC 90～110 V

2. 商用交流回路と筐体間及び各配線相互間は、絶縁すること。絶縁抵抗は、500V 絶縁計で 10M Ω 以上とし、交流 1,000V の電圧に 1 分間以上耐えること。ただし、測定は電球

を抜いて行う。

### A.1.3 構成及び構造

#### A.1.3.1 構成

本器の構成は次表のとおりとする。

表 A.1: 構成表

区 分	品 目	数 量
本体 (灯器)	筐体 (含端子板, 配線) ランプユニット (含電球), 庇	一式
付属品	腕金 (含取付金具類, 指示棒) 背面板	指定数
添付品	試験成績所 取扱説明書	指定数

#### A.1.3.2 構造

1. 筐体は、防雨型 (JIS C 0920) とし、雨水、塵埃等の侵入、有害な光の漏れ等が極力少ない構造であること。
2. 筐体外部に他の灯器、背面板、文字板または地点名、表示板が取り付けられる構造であること。
3. 筐体は、前面の下から上に容易に開閉できる構造とし、掛金で確実に閉じられること。ただし、指定により上から下または左から右に開閉できること。
4. ランプユニットは、筐体に取り付けた状態で、雨水、塵埃等が侵入しない構造とし、電球の交換、内部点検及び清掃が容易であること。
5. 庇は、ランプユニット面に対し上方 45 度以上の入射角を持つ直射日光を妨げること。ただし、庇は互いに他のランプユニットレンズ面の視認を妨げないこと。

#### A.1.3.3 部品および材料

1. 構成部品は、信頼性が高い社内検査合格品であって、JIS等の標準規格のあるものについては、その規格に適合したものであること。
2. 筐体は、厚さ1.0mm以上の鋼板(JIS G 3141)又は同等以上の強度を持つ材料を使用すること。
3. 電球は、交通信号用電球を使用し、その受金はJIS C 7709によること。
4. 反射鏡は、厚さ0.8mm以上のアルミニウム板(JIS H 4000)又は厚さ0.5mm以上の冷間延鋼板(JIS G 3141)と同等以上の強度を持ち、さび、その他の経年変化による反射率の低下が少ない耐熱性の材料を使用すること。
5. レンズは、均質で優良な樹脂系の材料を使用し、性能に影響を与える泡、傷、歪、色むら、その他欠点がないこと。

#### A.1.3.4 配線

1. 筐体内部の配線は、電流容量が十分で、耐熱、絶縁性の優れた線材を使用し、端子板から個別に配線すること。
2. 圧着接続をする場合は、部品に過大な力が加わらないようにして確実にを行い、不要のくず等は完全にとり除くこと。

#### A.1.3.5 表示

1. 筐体の見やすい個所に名板をつけること。
2. 端子板には、記号を表示すること。
3. 文字は、鮮明かつ容易に消えない方法で記入すること。

#### A.1.3.6 組立

1. ねじは一般用メートルねじ(JIS B 0205)又は十字穴付タッピングねじ(JIS B 1122)を用いること。
2. ねじ及び圧着部分は、衝撃又は継続的な振動にゆるまないこと。
3. 部品は、点検、修理及び清掃が容易にできるように組立てること。

4. 組立及び仕上げは、確実かつ美麗であること。

### A.1.4 性能

#### A.1.4.1 反射鏡

反射鏡は80%以上であること。

#### A.1.4.2 レンズ

A光源 (JIS Z 8720) を使用した時の色度は、図 A.1 を標準とする。

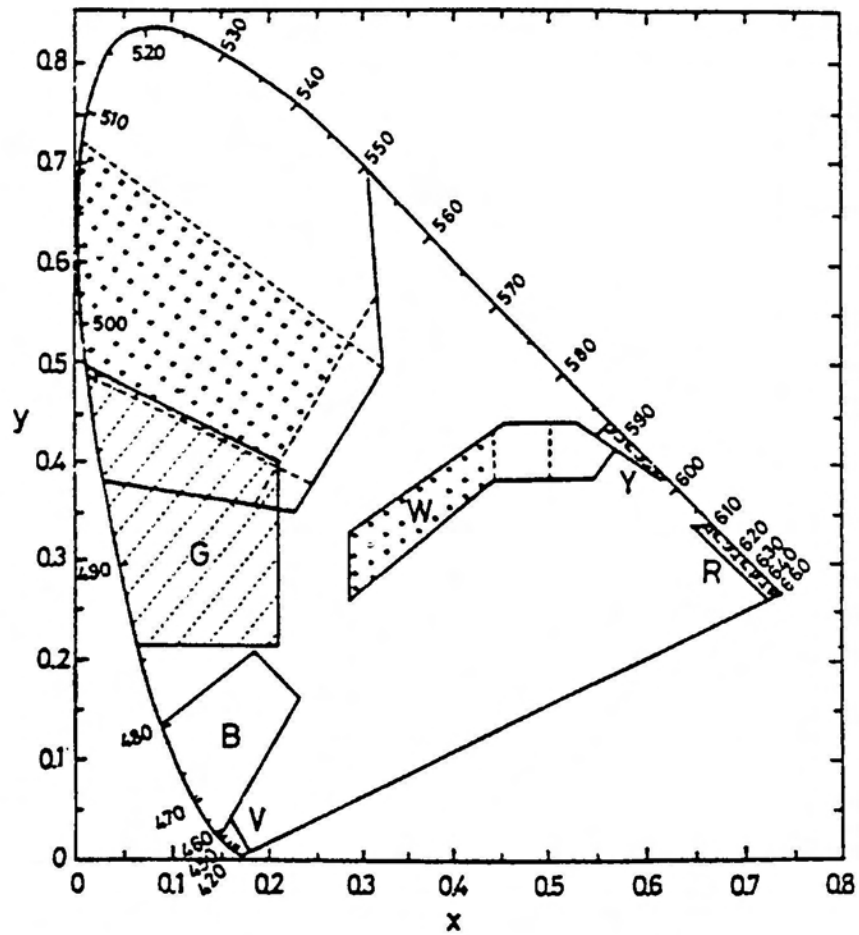


図 A.1: レンズ色の色度表 (斜線部分)



#### A.1.4.3 総合特性

交通信号用電球を使用し、ランプユニットを交流電源電圧 100V で点灯した時、フィラメントから 10m 前方の各測定点で測定した光度は、表 2.2 に示す値以上であること。また、輝度均斉度は、輝度計を光中心軸に設置し、ランプユニットを点灯させ、図 A.3 に示す点を測定したとき、最大対最小の輝度比が 5 対 1 以下であること。

1. 光度は、C.I.E.(国際照明委員会) で検討されている数値を参考にして表 A.2(車輻用) のように規定した。

なお、車輻用に関しては、0 度より上方と 0 度の左右 20 度から 0 度から左右 40 度の範囲は次の理由から特に規定しないこととした。

- 上方の光は道路上の視認性は必要性がないため。
- 0 度より 0 度の左右 20 度から 0 度から左右 40 度は灯器の横方向になり、道路幅上の視認性から外れるため。

2. 均斉度は C.I.E.(国際照明委員会) で検討されている数値を参考にして、最大輝度対最小輝度比を 5 対 1 とした。

測定方法については、ランプユニットと輝度計を、視野の寸法がレンズ表面で 50 φ ± 10mm となるように設置し輝度計を左右、上下に振って図 A.3 に示す各点を測定することとした。

## 光度表

表 A.2: 光度表

	-40°	-30°	-20°	-10°	0°	10°	20°	30°	40°
0°				100	240	100			
-10°	7	9	17	40	65	40	17	9	7
-20°	5	6	7	10	15	10	7	6	5
-30°	3	4	5	7	8	7	5	4	3
-40°	3	3	4	6	7	6	4	3	3

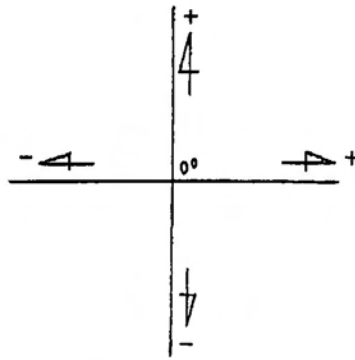


図 A.2: 測定方向

## 備考

### 測定条件

- (1) 主光軸を 0° とする.
- (2) 交通信号用電球を使用し, 交流電源電圧 100V とする.

## 輝度測定点

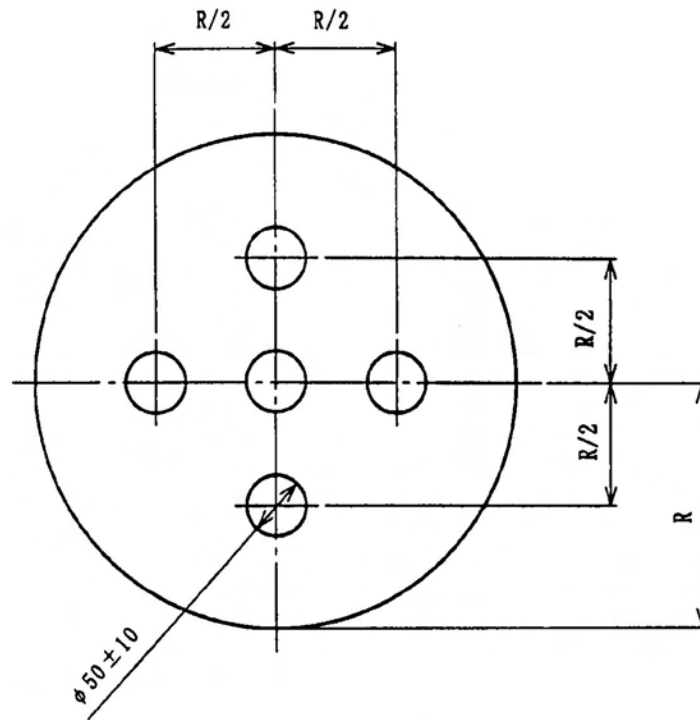


図 A.3: 輝度測定点

## 備考

### 測定条件

- (1) 輝度計は主光軸上に設置する.
- (2) 測定距離は、輝度計の視野がレンズ面で  $50 \phi \pm 10\text{mm}$  になる位置とする.

## A.1.5 検査

### A.1.5.1 検査場所

検査は、検査官立会いのもとに、製造工場において行うものとする。

### A.1.5.2 検査準備

1. 検査は、完成品について行う。必要があれば製造過程で行うことがある。
2. 検査に必要な測定器類は、製造会社側で準備すること。
3. 検査に先立ち次の書類を検査官に提示し、検査の具体的方法について指示を受けること。
  - (1) 社内試験成績書及び検査責任者
  - (2) 検査日程表、検査手順、検査項目及び検査場所
  - (3) 検査設備、測定器、測定回路等の一覧表

### A.1.5.3 検査方法

1. 検査の種類は、次のとおりとする。
  - (1) 構成検査
  - (2) 構造検査
  - (3) 性能検査
2. 構成検査は、A.1.3.1 項の規定どおりであるか否かを検査する。
3. 構造検査は、A.1.3.2 項の規定どおりであるか否かを、視察及び実測により検査する。
4. 性能試験は、原則として、下記条件で行い、機能及び性能が2.1.4 項を満足するか否かを検査する。

(1) 交流電源電圧	100V
(2) 周囲条件	常温、常湿
(3) 使用電球	交通信号用電球
5. 性能試験のうち、電源電圧及び湿度特性に関する検査は、抜き取りによって行い、A.1.2.3 項の1で指定された条件のもとで、機能及び性能がA.1.4 項を満足するか否かを検査する。ただし、検査官の指示によりその一部または全部を省略することができる。
6. 検査中に発見された軽微な欠点は、その原因、処置及び結果について検査官に報告し、

再検査を受けることができる。

7. 検査方法等，検査の実施に疑義を生じた場合は，検査官の指示によること。

## A.2 金属製歩行者用交通信号灯器仕様書

### 警交仕規第30号[版2]

金属製歩行者用交通信号灯器仕様書・警交仕規第30号[版2]は、歩行者用交通信号灯器に用いられる仕様書である。

#### A.2.1 総則

##### A.2.1.1 適用範囲

本仕様書は、道路の交差点等において信号制御機を組合せて車輛，歩行者等の交通流を整理するための金属製の信号灯器に適用する。

##### A.2.1.2 品名

本気の品名は，次のとおりとする。

金属製歩行者用交通信号灯器

##### A.2.1.4 一般事項

1. 製造業者は，本器の製造に先立ち，下記の図面を含む承認図を3部提出して，担当官の承認を受けること。ただし，年度ごとにすでに承認を受けたものは省略できる。
  - (1) 構造図 (部品配置がわかるもの)
  - (2) 回路図 (電气的性能及び機能がわかるもの)
  - (3) 配線図 (各回路間の接続関係がわかるもの)
2. 本仕様書に規定されていない事項または解釈に疑義のある事項については，担当官の指示または承認を受けること。
3. 本仕様書に規定されていない事項で，法令，規則，技術基準等に規定されている事項については，その規定に従うものとする。

## A.2.2 設計条件

### A.2.2.1 一般条件

1. 本器は、対面する歩行者に対し極力外部条件の影響を受けることなく、良好な視認性を保つこと。
2. 信号表示は、白昼においても点滅状態が明確に区別でき、直射日光等によってまぎらわしい状態にならないこと。
3. 交差点において、通常生じる環境で連続運転しても異常なく動作し長期の使用に耐えること。
4. 保守が容易で年1回の簡易な点検、清掃により、異常なく動作すること。
5. 屋外施設として堅牢かつ優美であること。

### A.2.2.2 機械的条件

1. 本器は、秒速 50m 以上の風圧に耐えること。
2. 灯器に、全振幅 2.0m 毎分 300～1,200 回の正弦波振動を上下、前後、左右の各方向に 30 分間加えても機械的、電氣的に異常を生じないこと。なお、振動数の変化の周期は約 3 分とする。

### A.2.2.3 電氣的条件

1. 次の試験条件で電氣的に異常なく動作すること。

周囲温度 : - 20～+ 60 °C

相対湿度 : 40～90 %

電気電圧 : 80～110 V

2. 商用交流回路と筐体間及び各配線相互間は、絶縁すること。絶縁抵抗は、500V 絶縁計で 10M Ω 以上とし、交流 1,000V の電圧に 1 分間以上耐えること。ただし、測定は電球を抜いて行う。

### A.2.3 構成及び構造

#### A.2.3.1 構成

本器の構成は、次表のとおりとする。

項目	品名	数量	備考
灯器	筐体	1	端子板，配線を含む。
	ランプユニット	1式	レンズ，反射鏡，電球，ソケットを含む。
	庇	2	
付属品	腕金	1式	取付金具類または自立用金具類を含む。
添付品	試験製器書 取扱説明書	指定数	

#### A.2.3.2 構造

1. 灯器は側住式または自立式に設置でき，左右に取付角度を調整できる構造であること。
2. 筐体は，防雨形 (JIS C 0920) とし，雨水，塵埃等が浸入，有害な光の漏れ等が極力少ない構造であること。
3. 筐体は前面から容易に開閉できる構造とする。なお，扉は右開きとし，掛金で確実に閉じられること。
4. 筐体にはランプユニットを取り付けること。なお，電球の受金止具は焦点調整のため，その位置を前後に微調で切る構造であること。
5. ランプユニットは，筐体に取り付けた状態で雨水，塵埃等が侵入しない構造とし，電球の交換，内部点検及び清掃が容易であること。
6. 庇は，ランプユニットレンズ中心軸から上方 60 度以上の入射角を持つ直射日光を妨げること。ただし，庇は，互いに他のランプユニットレンズ面の視認を妨げないこと。
7. レンズには，図 A.4，図 A.5 に示す人形を，点灯時白抜き表示すること。なお，人形が消灯時には極力見えないようにすること。
8. ランプユニットは，レンズを容易に脱着できること。





図 A.4: 青用人形

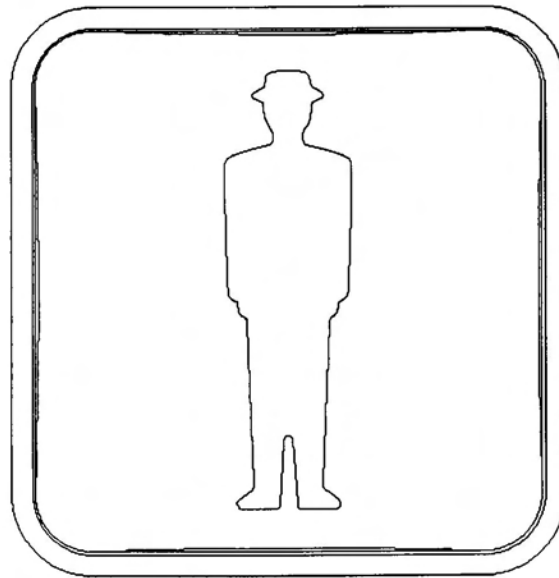


図 A.5: 赤用人形

### A.2.3.3 部品及び材料

1. 構成部品は、信頼性が高い社内検査合格品であって、JIS等の標準規格のあるものについては、その規格に適合したものであること。
2. 筐体は、厚さ1.0mm以上の鋼板(JIS G 3141)又は同等以上の強度を持つ材料を使用すること。
3. 電球は、交通信号機用電球(JIS C 7528)を使用し、その受金はJIS C 7709によること。
4. 反射鏡は、厚さ0.5mm以上の金属板と同等以上の強度を持ち、さび、その他の経年変化による反射率の低下が少ない耐熱性の材料を使用すること。
5. レンズは、均質で優良な樹脂系の材料を使用し、性能に影響を与える泡、傷、歪、色むら、その他欠点がないこと。

### A.2.3.4 配線

1. 配線は、電流容量が十分で、耐熱、絶縁性の優れた線材を使用すること。
2. はんだ付け又は圧着接続をする場合は、部品に過大な力が加わらないようにして確実にを行い、不要のくず等は完全にとり除くこと。

### A.2.3.5 組立

1. ねじは一般用メートルねじ(JIS B 0205)を用いること。ただし、大形ねじはこの限りでない。
2. ねじ及び圧着部分は、衝撃又は継続的な振動にゆるまないこと。
3. 部品は、点検、修理及び清掃が容易にできるように組立てること。
4. 組立及び仕上げは、確実かつ美麗であること。

## A.2.4 性能

### A.2.4.1 反射鏡

反射鏡は80%以上であること。

### A.2.4.2 レンズ

レンズは、点灯した場合、部分的な明暗の差が少なく、中心軸上レンズ面から約10mの位置で、前面一様に輝いて見えること。ただし、人形部分は除く。

### A.2.4.3 総合特性

道路交通信号機用電球を使用し、電源電圧100Vで点灯したとき、フィラメントから10m前方の各測定点で測定した光度は、表A.3に示す値以上であること。

表 A.3: 光度表

	-40°	-30°	-20°	-10°	0°	10°	20°	30°	40°
20°	3	5	7	10	15	10	7	5	3
10°	5	7	15	30	40	30	15	7	5
0°	7	10	30	48	80	48	30	10	7
-10°	5	7	15	35	48	35	15	7	5
-20°	3	5	7	10	15	10	7	5	3
-30°	3	3	5	7	8	7	5	3	3
-40°	3	3	3	5	7	5	3	3	3

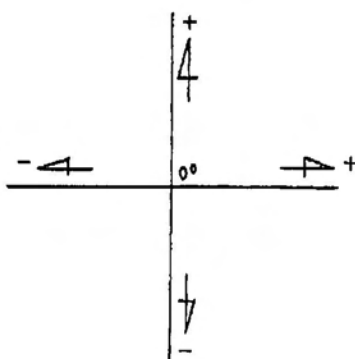


図 A.6: 測定方向

### 備考

#### 測定条件

- (1) 主光軸を0°とする。
- (2) 交通信号機用電球を使用し、電源電圧100Vとする。

## A.2.5 検査

### A.2.5.1 検査場所

検査は、検査官立会いのもとに、製造工場において行うものとする。

### A.2.5.2 検査準備

1. 検査は、完成品について行う。必要があれば製造過程で行うことがある。
2. 検査に必要な測定器類は、製造会社側で準備すること。
3. 検査に先立ち次の書類を検査官に提示し、検査の具体的方法について指示を受けること。
  - (1) 社内試験成績書及び検査責任者
  - (2) 検査日程表，検査手順，検査項目及び検査場所
  - (3) 検査設備，測定器，測定回路等の一覧表

### A.2.5.3 検査方法

1. 検査の種類は、次のとおりとする。
  - (1) 構成検査
  - (2) 構造検査
  - (3) 性能検査
2. 構成検査は、構成が本仕様書の規定どおりであるか否かを検査する。
3. 構造検査は、構造が本仕様書の規定どおりであるか否かを、視察及び実測により検査する。
4. 性能試験は、原則として、下記条件で行い、機能及び性能が2.1.4項を満足するか否かを検査する。

(1) 交流電源電圧	100V
(2) 周囲条件	常温，常湿
(3) 使用電球	交通信号機用電球
5. 性能試験のうち、電源電圧及び湿度特性に関する検査は、抜き取りによって行う。ただし、検査官の指示によりその一部または全部を省略することができる。
6. 検査中に発見された軽微な欠点は、その原因、処置及び結果について検査官に報告し、

再検査を受けることができる。

7. 検査方法等，検査の実施に疑義を生じた場合は，検査官の指示によること。

## A.3 疑似点灯防止型ランプユニット仕様書

### 警管仕第4号

疑似点灯防止型ランプユニット仕様書・警管仕第4号は、車輛用および歩行者用交通信号灯器の両方に用いられる仕様書である。

#### A.3.1 総則

##### A.3.1.1 適用範囲

本仕様書は、道路の交差点等において信号制御機を組合せて車輛、歩行者等の交通流を整理するための車輛用および歩行者用交通信号灯器に使用する疑似点灯防止型ランプユニットに適用する。

##### A.3.1.2 品名

品名	車輛用疑似点灯防止型ランプユニット
	歩行者用疑似点灯防止型ランプユニット

##### A.3.1.3 関連仕様書

特に規定のない事項について、次の可憐仕様書に従うものとする。

警交仕規第23号[版2]	金属製車輛用交通信号灯器仕様書
警交仕規第30号	金属製歩行者用交通信号灯器仕様書

##### A.3.1.4 一般事項

1. 製造業者は、ランプユニットの製造に先立ち、承認図と構造図(部品配置がわかるもの)を3部提出して、担当官の承認を受けること。ただし、年度ごとにすでに承認を受けたものは省略できる。

2. 本仕様書に規定されていない事項または解釈に疑義のある事項については、担当官の指示または承認を受けること。
3. 本仕様書に規定されていない事項で、法令、規則、技術基準等に規定されている事項については、その規定に従うものとする。

## A.3.2 設計条件

### A.3.2.1 一般条件

1. 信号表示は、対面する車輛の運転者および歩行者に対し極力外部条件の影響を受けることなく良好な視認性を保ち、白昼においても点滅状態が明確に区別でき、直射日光等によってまぎらわしい状態にならないこと。
2. 交差点において、通常生じる環境で連続運転しても異常なく動作し長期の使用に耐えること。
3. 保守が容易で年1回の簡易な点検、清掃により異常なく動作すること。
4. 電球は道路交通信号器用電球を使用すること。

### A.3.2.2 機械的条件

1. ランプユニットを筐体に取り付けた状態で、全振幅 2.0m 毎分 300～1,200 回の正弦波振動を上下、前後、左右の各方向に 30 分間加えても機械的、電氣的に異常を生じないこと。なお、振動数の変化の周期は約 3 分とする。ただし、試験は電球を抜いて行う。

### A.3.2.3 電氣的条件

1. 次の試験条件で電氣的に異常なく動作すること。

周囲温度	:	- 20～+ 60 °C
相対湿度	:	40～90 %
電気電圧	:	AC 90～110 V

2. 商用交流回路と筐体間及び各配線相互間は、絶縁すること。絶縁抵抗は、500V 絶縁計で 10M Ω 以上とし、交流 1,000V の電圧に 1 分間以上耐えること。ただし、測定は電球を抜いて行う。

### A.3.3 構成及び構造

#### A.3.3.1 構成

##### 1. 車輛用

区 分	品 目	数 量
ランプユニット	反射鏡 前面レンズ 遮光レンズ ソケット	1 式
添付品	試験成績書	指定数

##### 2. 歩行者用

区 分	品 目	数 量
ランプユニット	反射鏡 前面レンズ 遮光レンズ 人形レンズ ソケット	1 式
添付品	試験成績書	指定数

#### A.3.3.2 構造

1. ランプユニットは筐体に取り付けた状態で雨水，塵埃等が進入しない構造とし，電球の交換，内部点検，清掃が容易であること。
2. 人形レンズは，警交仕規第 30 号歩行者用交通信号灯器仕様書第 A.2.8 項によること。
3. 遮光レンズの形状は図 A.7 のとおりとする。





図 A.7: 遮光レンズ形状

#### A.3.3.3 部品および材料

1. 構成部品は、信頼性が高い社内検査合格品であって、JIS等の標準規格のあるものについては、その規格に適合したものであること。
2. 反射鏡は、厚さ0.8mm以上のアルミニウム板(JIS H 4000)を使用し、さび、その他の経年変化による反射率の低下が少ない耐熱性の材料を使用すること。
3. 前面レンズは、均質で優良な材料を使用し、性能に影響を与える泡、傷、歪、色むら、その他欠点がないこと。
4. 遮光レンズは、均質で優良な樹脂系の材料を使用し、性能に影響を与える泡、傷、歪、色むら、その他欠点がないこと。

#### A.3.3.4 配線

1. 配線は、電流容量が十分で、耐熱、絶縁性の優れた線材を使用すること。
2. 圧着接続をする場合は、部品に過大な力が加わらないようにして確実にを行い、不要のくず等は完全にとり除くこと。

### A.3.3.5 組立

組立は、警交仕規第 23 号 [版 2] 車両用交通信号灯器仕様書、警交仕規第 30 号歩行者用交通信号灯器仕様書によること。

## A.3.4 性能

### A.3.4.1 反射鏡

反射率や色度等は警交仕規第 23 号 [版 2] 車両用交通信号灯器仕様書、警交仕規第 30 号歩行者用交通信号灯器仕様書によること。

### A.3.4.2 遮光レンズ

ランプユニットの中心軸上に輝度計を設置し、ランプユニット中心軸から水平方向約 10° の横から投光器でランプユニットを照射したとき、ランプユニット内部の遮光レンズ無しの場合と有りの場合のレンズ面全体の輝度測定をし、その比が 1.5 対 1(無対有) 以上であること。ただし、レンズ表面に映る光源は含まない。

### A.3.4.3 総合特性

#### 1. 車両用

道路交通信号器用電球を使用し、ランプユニットを交流電源電圧 100V で点灯したとき、フィラメントから 10m 前方の各測定店で測定した光度は、警交仕規第 23 号 [版 2] の総合特性を基準とし、表 A.4 に示す値以上であること。

表 A.4: 光度表 (車両用)

	-40°	-30°	-20°	-10°	0°	10°	20°	30°	40°
0°				100	240	100			
-10°	3.5	5.8	17	40	65	40	17	5.8	3.5
-20°	2.5	3.9	7	10	15	10	7	3.9	2.5
-30°	1.5	2.6	4	5.6	6.4	5.6	4	2.6	1.5
-40°	1.5	1.5	2	3	3.5	3	2	1.5	1.5

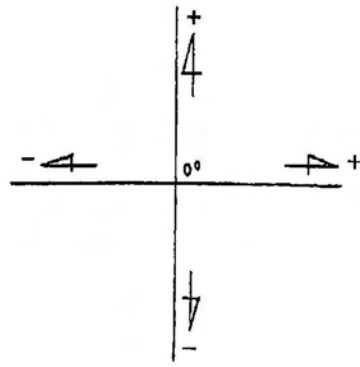


図 A.8: 測定方向

**備考**

測定条件

- (1) 主光軸を  $0^\circ$  とする.
- (2) 交通信号用電球を使用し, 交流電源電圧 100V とする.

## 2. 歩行者用

道路交通信号灯器用電球を使用し、ランプユニットを交流電源電圧 100V で点灯したとき、フィラメントから 10m 前方の各測定点で測定した光度は、警交仕規第 30 号の総合特性を基準とし、表 A.5 に示す値以上であること。

表 A.5: 光度表 (歩行者用)

	-40°	-30°	-20°	-10°	0°	10°	20°	30°	40°
20°	3	5	7	10	15	10	7	5	3
10°	5	7	15	30	40	30	15	7	5
0°	7	10	30	48	80	48	30	10	7
-10°	5	7	15	35	48	35	15	7	5
-20°	3	5	7	10	15	10	7	5	3
-30°	3	3	5	7	8	7	5	3	3
-40°	3	3	3	5	7	5	3	3	3

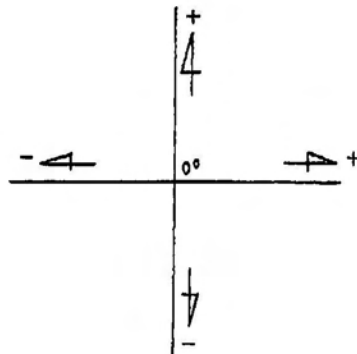


図 A.9: 測定方向

### 備考

#### 測定条件

- (1) 主光軸を 0° とする。
- (2) 交通信号用電球を使用し、交流電源電圧 100V とする。

### A.3.5 検査

検査は、警交仕規第 23 号 [版 2] 車両用交通信号灯器仕様書，警交仕規第 30 号歩行者用交通信号灯器仕様書，検査の項を準用して行うこと。

## 付録B 多眼球レンズ板の光線軌跡

図 B.1 に球レンズ光線軌跡の関係を示す。

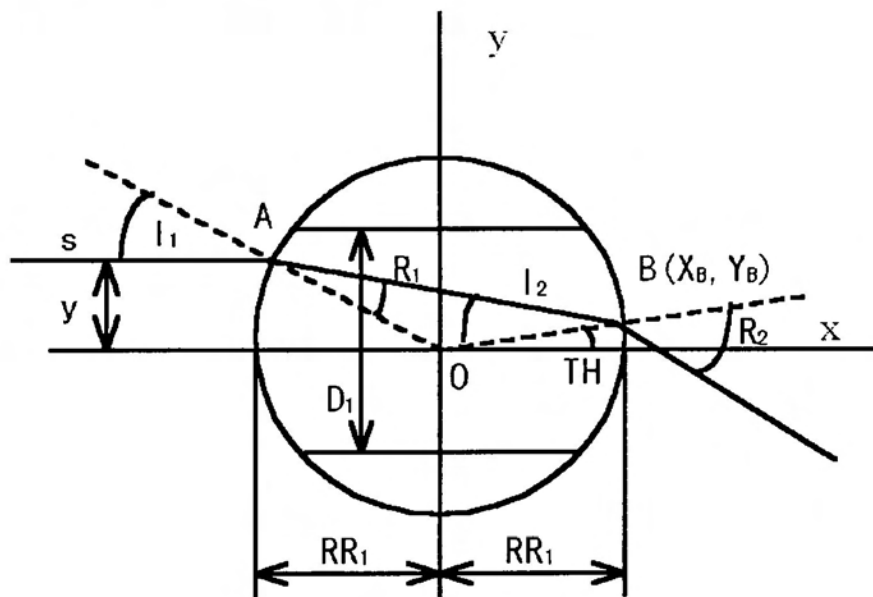


図 B.1: 光線軌跡の関係

ただし,

$D_1$	:球レンズのピッチ (4.95mm)	$I_1$	:A 点への入射角 [°]
$RR_1$	:レンズの曲率半径 (3.5mm)	$I_2$	:B 点への入射角 [°]
$S$	:光の始発点の y 座標	$R_1, R_2$	:屈折角 [°]
$A, B$	:屈折点	$TH$	:中心点より屈折点 B への角度 [°]

とする。

光線軌跡の解析を行ううえでの条件として、平行光線が入射するものとする。

O点座標を  $(X, Y) = (X_0, Y_0)$  を原点とする。光の始発点  $S(X, Y)$  を  $S(X, Y) = (-D_1 - RR_1, y)$  とする。このとき、屈折点 A の座標 A 点は、次式で表される。

$$A(X, Y) = (-RR_1 \cdot \cos(I_1), y). \quad (\text{B.1})$$

屈折点 B の座標を求める前に、まず A 点 B 点を通る一次方程式は、次式で示される。

$$Y = -\tan(I_1 - R_1)X + y - RR_1 \cdot \cos(I_1) \cdot \tan(I_1 - R_1). \quad (\text{B.2})$$

ここで便宜上  $Y = \alpha X + \beta$  と表す。

中心  $(X_0, Y_0)$ 、半径  $RR_1$  の円の方程式は、 $(X - X_0)^2 + (Y - Y_0)^2 = RR_1^2$  である、よって次式となる。

$$(\alpha^2 + 1)X^2 + 2\alpha\beta X(\beta^2 - RR_1^2) = 0. \quad (\text{B.3})$$

上記式より X について解くと次式を得る。なお、 $X \geq 0$  と定義する。

$$X = \frac{-\alpha\beta + \sqrt{-\alpha^2\beta^2 - (\alpha^2 + 1) \cdot (\beta^2 - RR_1^2)}}{\alpha^2 + 1} = \frac{-\alpha\beta + E}{\alpha^2 + 1}. \quad (\text{B.4})$$

従って、屈折点 B の座標は次式となる。

$$B(X, Y) = \left( \frac{-\alpha\beta + E}{\alpha^2 + 1}, \frac{\beta + E}{\alpha^2 + 1} \right). \quad (\text{B.5})$$

次に屈折点 B  $(X, Y)$  を通る円の接線を求める。まず、O 点  $(X_0, Y_0)$  と  $B(X, Y) = (X_{(B)}, Y_{(B)})$  を通る方程式を求めると次式となる。

$$Y = \frac{Y_{(B)} - Y_0}{X_{(B)} - X_0} (X - X_0) + Y_0. \quad (\text{B.6})$$

円の傾き  $m_1$  は、次式で示される。

$$m_1 = \frac{Y_{(B)} - Y_0}{X_{(B)} - X_0}. \quad (\text{B.7})$$

従って、傾き  $m_1$ 、座標  $(X_{(B)}, Y_{(B)})$  を通る方程式は  $Y = m_1 X + Y_{(B)} - m_1 X_{(B)}$  ここで、中心点より屈折点 B の角度 TH は次式となる。

$$TH = \sin^{-1} \left( \frac{1}{RR_1} \times \frac{\beta + \alpha E}{\alpha^2 + 1} \right). \quad (\text{B.8})$$

B点での入射角は  $I_2 = TH + I_1 - R_1$  となる。故に、屈折角は  $R_2 = \sin^{-1}(N \cdot \sin(I_2))$  となり、傾きを  $m_2$  とする屈折光の方程式は、次式で示される。

$$m_2 = \tan(R_2 - TH). \quad (\text{B.9})$$

これを用いて、第2レンズへの入射角が決定し多眼球レンズユニットのシミュレーションを行う。



## 付録C 式(2.5)の導出

板厚  $l$  の表面が熱伝達率  $\alpha_1, \alpha_2$  のもとで温度  $\theta_{f1}, \theta_{f2}$  の流体に接している場合の定常状態における熱伝導微分方程式は、次式となる。

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{q_v}{\lambda} = 0. \quad (\text{C.1})$$

式(C.1)を次の境界条件のもとで解く。板厚  $l$  が  $y = 0$  で熱伝達率  $\alpha_1$  で流体温度  $\theta_{f1}$  の流体に接している。  $y = l$  で流体温度  $\theta_{f2}$  の流体に接している。また、板の内部発熱は無い ( $q_v = 0$ )。

$$\left[ \frac{d\theta}{dy} - \frac{\alpha_1}{\lambda}(\theta - \theta_{f1}) + \frac{q_s}{\lambda} \right]_{y=0} = 0. \quad (\text{C.2})$$

$$\left[ \frac{d\theta}{dy} - \frac{\alpha_2}{\lambda}(\theta - \theta_{f2}) + \frac{q_s}{\lambda} \right]_{y=l} = 0. \quad (\text{C.3})$$

よって、式(C.1)は、次式となる。

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = 0. \quad (\text{C.4})$$

式(C.4)の一般解は次式となる。

$$\theta = k_1 x + k_2. \quad (\text{C.5})$$

$$\frac{d\theta}{dx} = k_1. \quad (\text{C.6})$$

式(C.5),(C.6)を式(C.2),(C.3)に代入して、 $k_1, k_2$ を求める。

$$\left[ k_1 - \frac{\alpha_1}{\lambda}(k_1 x + k_2 - \theta_{f1}) \right]_{x=0} = 0. \quad (\text{C.7})$$

$$\left[ k_1 + \frac{\alpha_1}{\lambda}(k_1 x + k_2 - \theta_{f1}) \right]_{x=l} = 0. \quad (\text{C.8})$$

よって、

$$\lambda k_1 - \alpha_1 k_2 = -\alpha_1 \theta_{f1}. \quad (\text{C.9})$$

$$\lambda k_1 + \alpha_2 l k_1 + \alpha_2 k_2 = \alpha_2 \theta_{f2}. \quad (\text{C.10})$$

したがって、 $k_1, k_2$  は次式となる。

$$k_1 = \frac{\alpha_1 \alpha_2 (-\theta_{f1} + \theta_{f2})}{\lambda \left\{ (\alpha_1 + \alpha_2) + \frac{\alpha_1 \alpha_2 \ell}{\lambda} \right\}}. \quad (\text{C.11})$$

$$k_2 = \frac{\lambda(\alpha_1 \theta_{f1} + \alpha_2 \theta_{f2}) + \alpha_1 \alpha_2 \ell \theta_{f1}}{\lambda \left\{ (\alpha_1 + \alpha_2) + \frac{\alpha_1 \alpha_2 \ell}{\lambda} \right\}}. \quad (\text{C.12})$$

よって、式(C.5) 代入する。

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \frac{\alpha_1 \alpha_2 (-\theta_{f1} + \theta_{f2})}{\lambda \left\{ (\alpha_1 + \alpha_2) + \frac{\alpha_1 \alpha_2 \ell}{\lambda} \right\}} x + \frac{\lambda(\alpha_1 \theta_{f1} + \alpha_2 \theta_{f2}) + \alpha_1 \alpha_2 \ell \theta_{f1}}{\lambda \left\{ (\alpha_1 + \alpha_2) + \frac{\alpha_1 \alpha_2 \ell}{\lambda} \right\}}. \\ &= -\frac{\theta_{f1} - \theta_{f2}}{\lambda \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\ell}{\lambda} \right)} x + \frac{\lambda \left( \frac{\theta_{f1}}{\alpha_2} + \frac{\theta_{f2}}{\alpha_1} \right) + \ell \theta_{f1}}{\lambda \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\ell}{\lambda} \right)}. \\ &= -\frac{\theta_{f1} - \theta_{f2}}{\lambda \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\ell}{\lambda} \right)} \left( x + \frac{\lambda}{\alpha_1} \right) + \theta_{f1} \end{aligned} \quad (\text{C.13})$$

したがって、式(2.5)を導出した。

## 付録D 式(2.16),(2.17),(2.19),(2.20) の導出

エネルギー式と運動量式は、微小要素について得られたものであるが、境界層の厚さ  $\delta$  を含む範囲について考慮すると、式(2.14), (2.15)となる。この式に速度と温度の多項式(2.12), (2.13)を代入する。式(2.12), (2.13)を変形すると次式となる。

$$u = \frac{u_x}{\delta} y \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2 \quad (\text{D.1})$$

$$\theta - \theta_\infty = (\theta_w - \theta_\infty) \left(1 - \frac{y}{\delta}\right). \quad (\text{D.2})$$

式(2.16)の左辺の変形は以下のとおりである。

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} \left[ \int_0^\delta u^2 dy \right] &= \frac{d}{dx} \left[ \int_0^\delta \left\{ \frac{u_x}{\delta} y \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2 \right\} dy \right] \\ &= \frac{d}{dx} \frac{u_x^2}{\delta^2} \int_0^\delta y^2 \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2 dy \\ &= \frac{d}{dx} \frac{u_x^2}{\delta^2} \int_0^\delta y^2 \left(1 - \frac{4}{\delta} y + \frac{6}{\delta^2} y^2 - \frac{4}{\delta^3} y^3 + \frac{1}{\delta^4} y^4\right) dy \\ &= \frac{d}{dx} \frac{u_x^2}{\delta^2} \left[ \frac{1}{3} \delta^3 - \delta^3 + \frac{6}{5} \delta^3 - \frac{2}{3} \delta^3 + \frac{1}{7} \delta^3 \right] \\ &= \frac{d}{dx} \left( \frac{u_x^2 \delta}{105} \right). \end{aligned} \quad (\text{D.3})$$

次に、式(2.16)の右辺第1項の変形は以下のとおりである。

$$\begin{aligned} -\nu \left[ \frac{du}{dy} \right]_{y=0} &= -\nu \left( \frac{d}{dy} \left\{ \frac{u_x}{\delta} y \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2 \right\} \right)_{y=0} \\ &= -\nu \frac{u_x}{\delta} \left( \frac{d}{dy} y \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2 \right)_{y=0} \end{aligned}$$

$$= -\nu \frac{u_x}{\delta} \quad (\text{D.4})$$

最後に、式 (2.16) の右辺 2 項の変形は以下のとおりである。

$$\begin{aligned} g\beta \int_0^\delta (\theta - \theta_\infty) dy &= g\beta \int_0^\delta (\theta_w - \theta_\infty) \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2 dy \\ &= g\beta (\theta_w - \theta_\infty) \left(\delta - \frac{\delta^2}{\delta} + \frac{1}{3} \frac{\delta^3}{\delta^2}\right) \\ &= \frac{1}{3} g\beta (\theta_w - \theta_\infty) \delta. \end{aligned} \quad (\text{D.5})$$

したがって、式 (2.16) を導出した。

式 (2.17) の左辺の変形は以下のとおりである。

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} \left[ \int_0^\delta u(\theta - \theta_\infty) dy \right] &= \frac{d}{dx} \left[ \int_0^\delta \frac{u_x}{\delta} y \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2 (\theta_w - \theta_\infty) \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2 dy \right] \\ &= \frac{d}{dx} \frac{u_x}{\delta} (\theta_w - \theta_\infty) \int_0^\delta y \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2 \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2 dy \\ &= \frac{d}{dx} \frac{u_x}{\delta} (\theta_w - \theta_\infty) \int_0^\delta \left(y - \frac{4}{\delta} y^2 + \frac{6}{\delta^2} y^3 + \frac{4}{\delta^3} y^4 - \frac{1}{\delta^4} y^5\right) dy \\ &= \frac{d}{dx} \frac{u_x}{\delta} (\theta_w - \theta_\infty) \left(\frac{1}{2} \delta^2 - \frac{4}{3} \frac{\delta^3}{\delta} + \frac{3}{2} \frac{\delta^4}{\delta^2} + \frac{1}{6} \frac{\delta^6}{\delta^4} - \frac{4}{5} \frac{\delta^5}{\delta^3}\right) \\ &= \frac{d}{dx} \left\{ \frac{(\theta_w - \theta_\infty) u_x \delta}{30} \right\}. \end{aligned} \quad (\text{D.6})$$

次に、右辺の変形は以下のとおりである。

$$\begin{aligned} -a \left[ \frac{d\theta}{dy} \right]_{y=0} &= -a \left[ \frac{d}{dy} \left\{ (\theta_w - \theta_\infty) \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2 + \theta_\infty \right\} \right]_{y=0} \\ &= -a \left[ (\theta_w - \theta_\infty) 2 \left(1 - \frac{y}{\delta}\right) \frac{-1}{\delta} \right]_{y=0} \\ &= 2(\theta_w - \theta_\infty) \frac{a}{\delta}. \end{aligned} \quad (\text{D.7})$$

したがって，式(2.17)を導出した．

式(2.18)を式(2.16)，(2.17)に代入して微分を行う．

式(2.16)に代入する．

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dx} \left( \frac{u_x^2 \delta}{105} \right) &= \frac{1}{3} g \beta (\theta_w - \theta_\infty) \delta - \nu \frac{u_x}{\delta} \\
\frac{d}{dx} \frac{(c_1 x^{1/2})^2 c_2 x^{1/4}}{105} &= \frac{1}{3} g \beta (\theta_w - \theta_\infty) c_2 x^{1/4} - \nu \frac{c_1 x^{1/2}}{c_2 x^{1/4}} \\
\frac{c_1^2 c_2}{105} \frac{d}{dx} x^{5/4} &= \frac{1}{3} g \beta (\theta_w - \theta_\infty) c_2 x^{1/4} - \nu \frac{c_1 x^{1/2}}{c_2 x^{1/4}} \\
\frac{c_1^2 c_2}{105} \frac{5}{4} x^{1/4} &= \frac{1}{3} g \beta (\theta_w - \theta_\infty) c_2 x^{1/4} - \nu \frac{c_1 x^{1/2}}{c_2} \\
\frac{c_1^2 c_2}{84} &= \frac{1}{3} g \beta (\theta_w - \theta_\infty) c_2 - \nu \frac{c_1}{c_2} \\
\frac{c_1^2 c_2^2}{84} &= \frac{1}{3} g \beta (\theta_w - \theta_\infty) c_2^2 - \nu c_1. \tag{D.8}
\end{aligned}$$

式(2.17)に代入する．

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dx} \left( \frac{(\theta_w - \theta_\infty) u_x \delta}{30} \right) &= 2(\theta_w - \theta_\infty) \frac{a}{\delta} \\
\frac{(\theta_w - \theta_\infty)}{30} \frac{d}{dx} (c_1 x^{1/2} c_2 x^{1/4}) &= 2(\theta_w - \theta_\infty) \frac{a}{c_2 x^{1/4}} \\
\left( \frac{(\theta_w - \theta_\infty) c_1 c_2}{30} \right) \frac{d}{dx} x^{3/4} &= 2(\theta_w - \theta_\infty) \frac{a}{c_2} x^{1/4} \\
\frac{c_1 c_2^2}{30} \frac{3}{4} x^{-1/4} &= 2a x^{-1/4} \\
c_1 &= \frac{80a}{c_2^2}. \tag{D.9}
\end{aligned}$$

式(D.9)を式(D.8)に代入する．

$$\frac{\left( \frac{80a}{c_2^2} \right)^2 c_2^2}{84} = \frac{1}{3} g \beta (\theta_w - \theta_\infty) c_2^2 - \nu \frac{80a}{c_2^2}$$

$$\begin{aligned}
\frac{80^2 a^2}{84 c_2^2} &= \frac{1}{3} g \beta (\theta_w - \theta_\infty) c_2^2 - \nu \frac{80 a}{c_2^2} \\
\frac{1}{3} g \beta (\theta_w - \theta_\infty) c_2^4 &= \frac{80^2 a^2}{84} + \nu 80 a \\
c_2^4 &= \left( \frac{80^2 a^2}{84} + \nu 80 a \right) \frac{3}{g \beta (\theta_w - \theta_\infty)} \\
&= \left( \frac{80^2 a^2}{84 \nu^2} + \frac{a \nu}{\nu^2} 80 \right) \frac{3 \nu^2}{g \beta (\theta_w - \theta_\infty)}
\end{aligned} \tag{D.10}$$

よって、次式を得る.

$$c_2 = 3.93 \left( \frac{\nu}{a} \right)^{-1/2} \left( 0.99 + \frac{\nu}{a} \right)^{1/4} \left\{ \frac{g \beta (\theta_w - \theta_\infty)}{\nu^2} \right\}^{-1/4}. \tag{D.11}$$

したがって、式(2.20)を導出した.

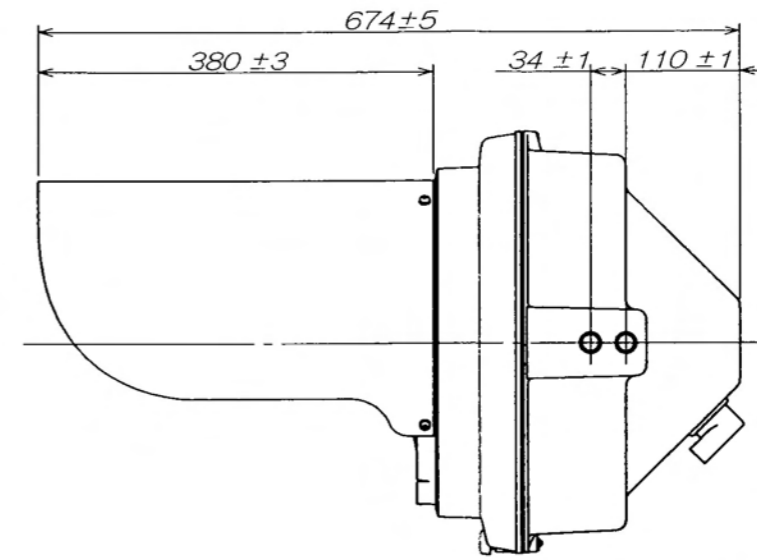
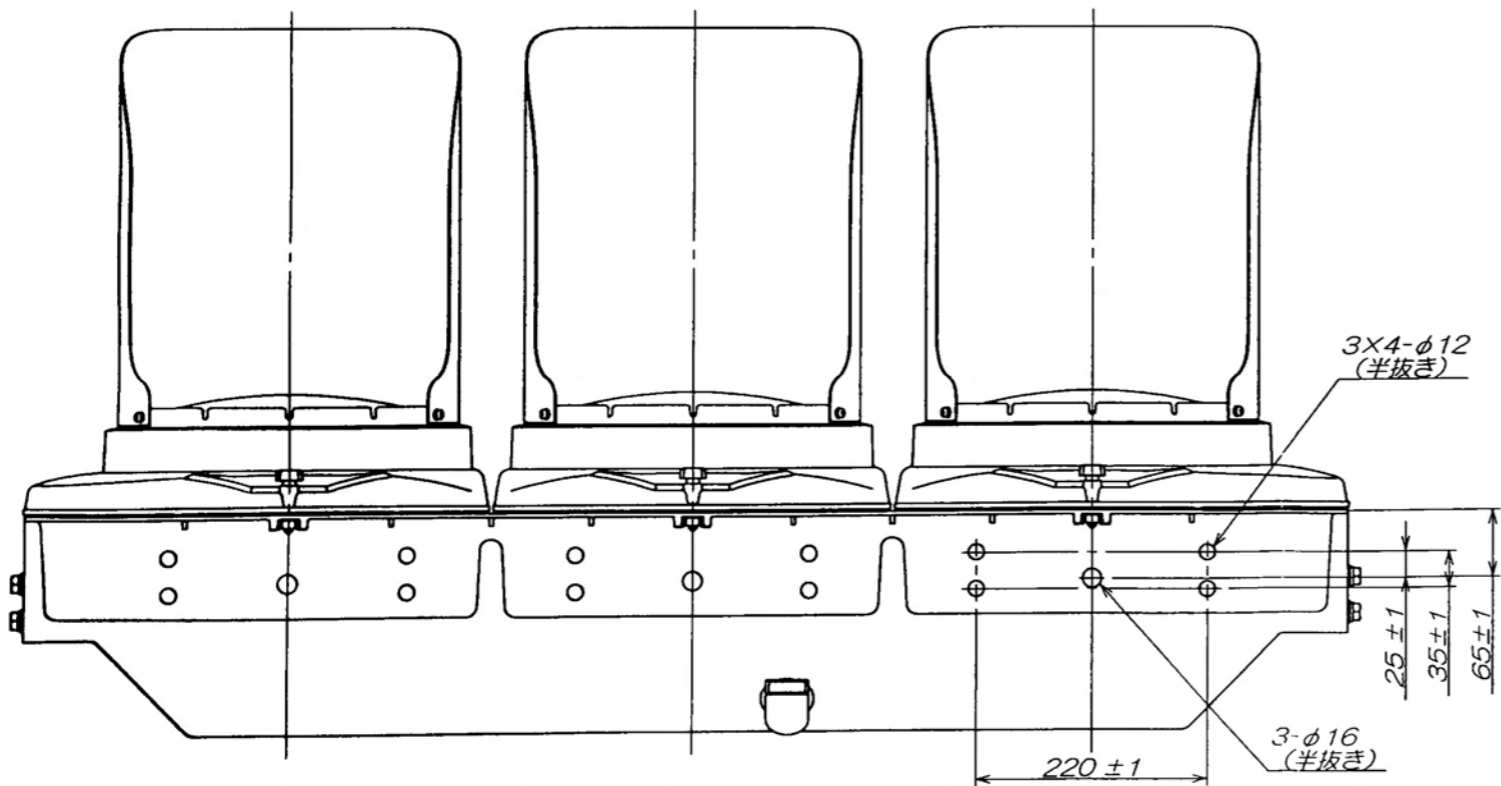
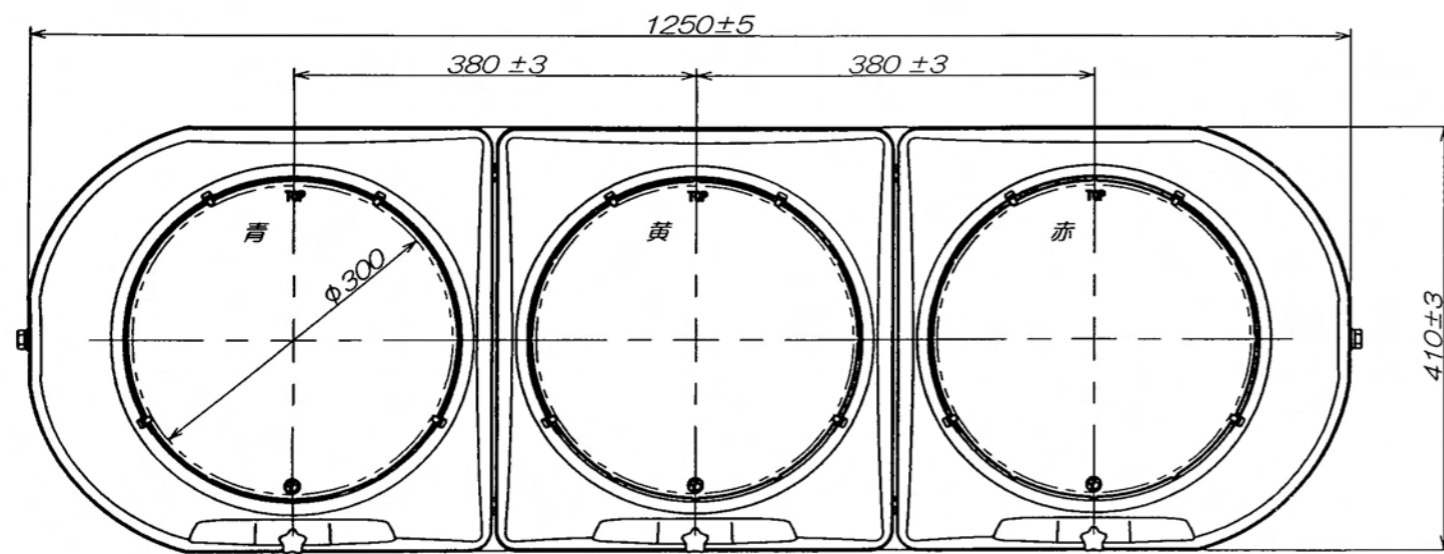
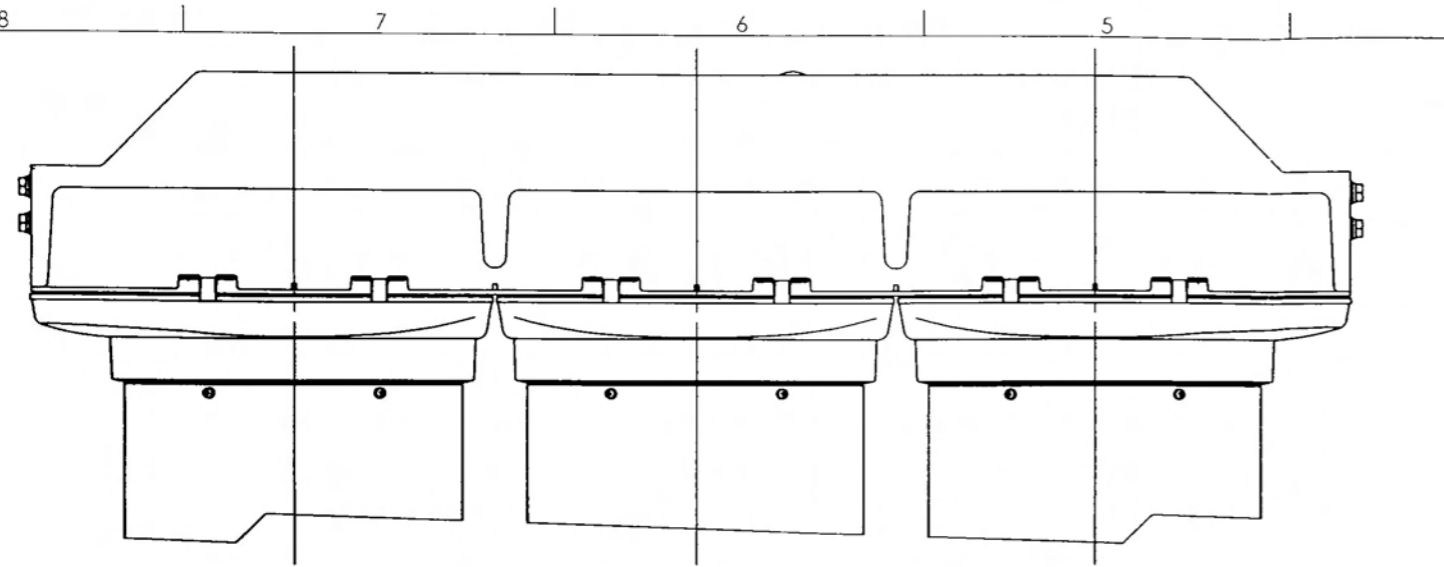
次に、式(D.11)を式(D.9)に代入する.

$$\begin{aligned}
c_1 &= \frac{80 a}{c_2^2} \\
&= \frac{80 a}{\left\{ 3.93 \left( \frac{\nu}{a} \right)^{-1/2} \left( 0.99 + \frac{\nu}{a} \right)^{1/4} \left\{ \frac{g \beta (\theta_w - \theta_\infty)}{\nu^2} \right\}^{-1/4} \right\}^2} \\
&= 5.18 \nu \left( 0.952 + \frac{\nu}{a} \right)^{-1/2} \left\{ \frac{g \beta (\theta_w - \theta_\infty)}{\nu^2} \right\}^{1/2}
\end{aligned} \tag{D.12}$$

したがって、式(2.19)を導出した.

## 付 録 E 道路交通信号灯器設計図

道路交通信号灯器の筐体，ランプユニット，レンズユニットの設計図を示す。



1. 内部配線図



2. 配線色

灯色	配線色	備考
赤	赤色	共通線は灰色とする
青	青色	
黄	黄色	

3. 塗装色

塗装部分	マンセル	塗装色
灯器本体	マンセル	2.5PB7/2 (全艶)
フード	外側	マンセル 2.5PB7/2 (全艶)
	内側	マンセル N1.5 (艶消し)

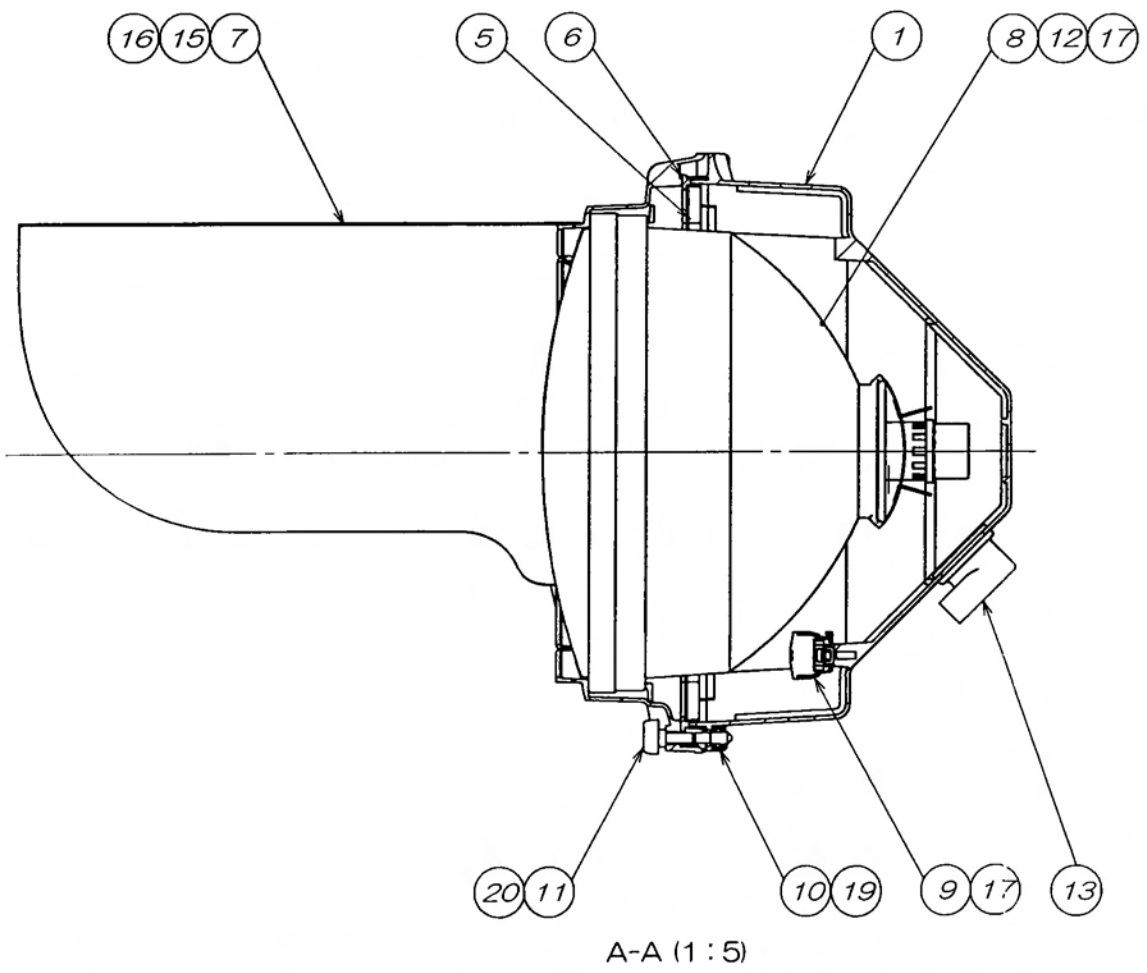
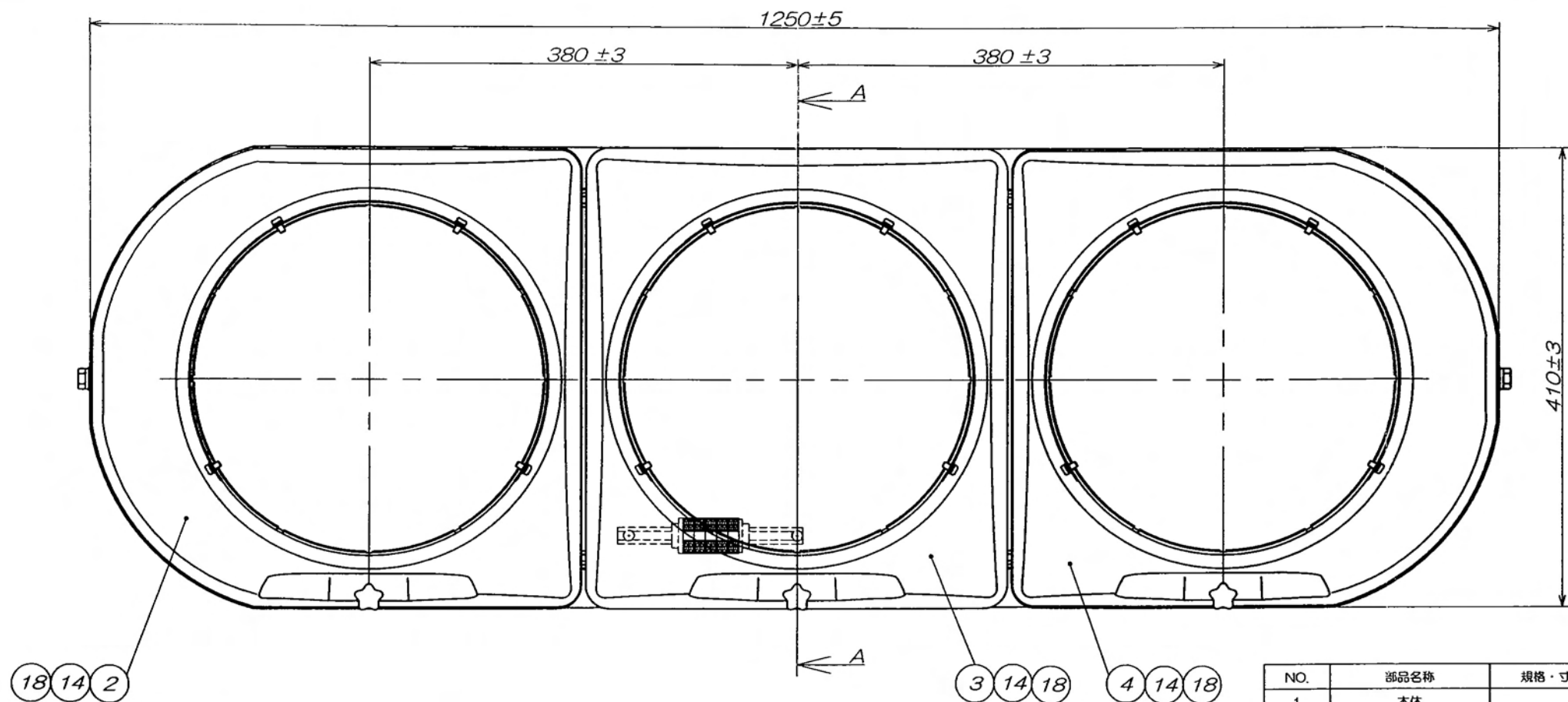
4. 重量

26.1 kg

※レンズ径寸法は有効径を示す。

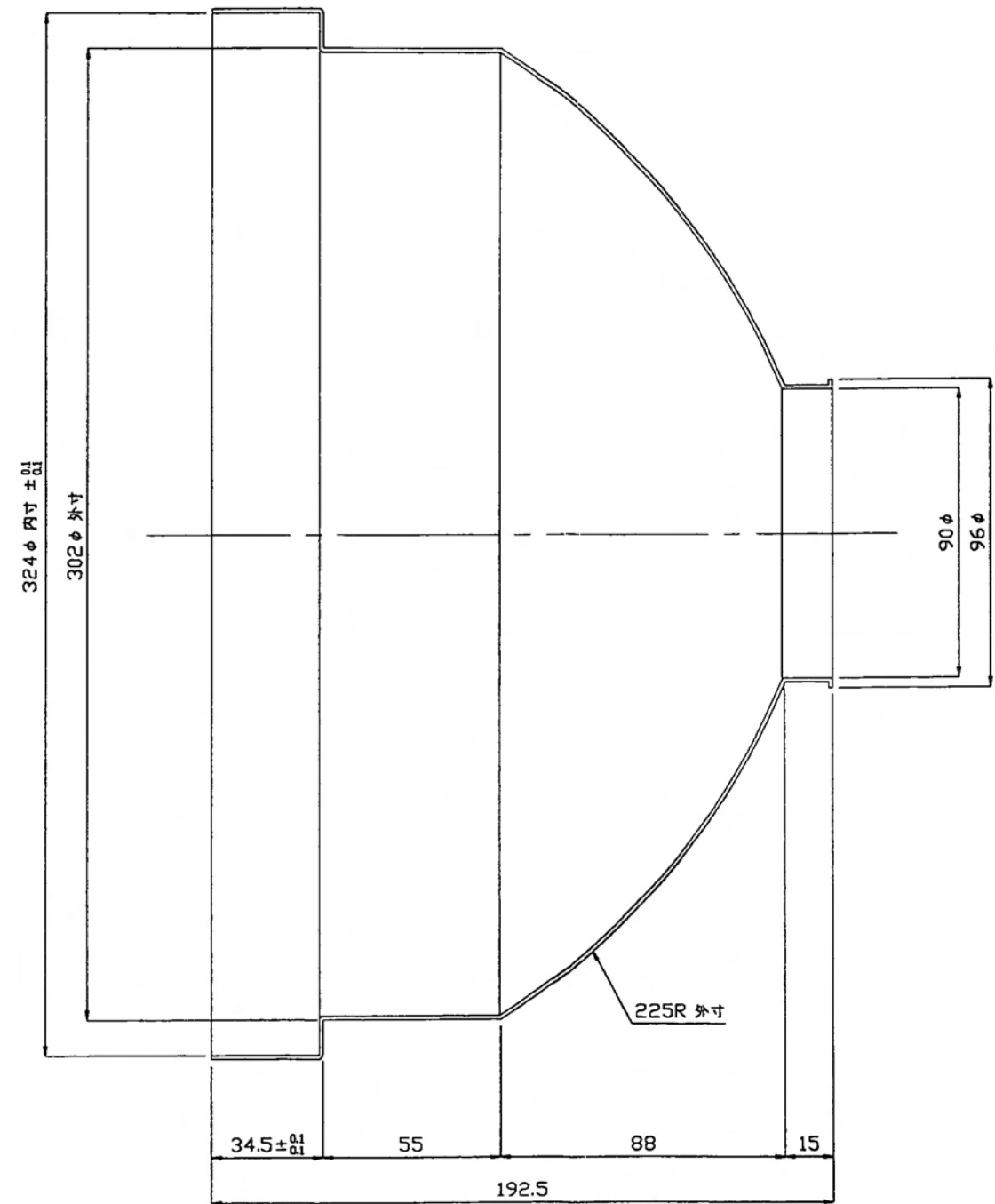
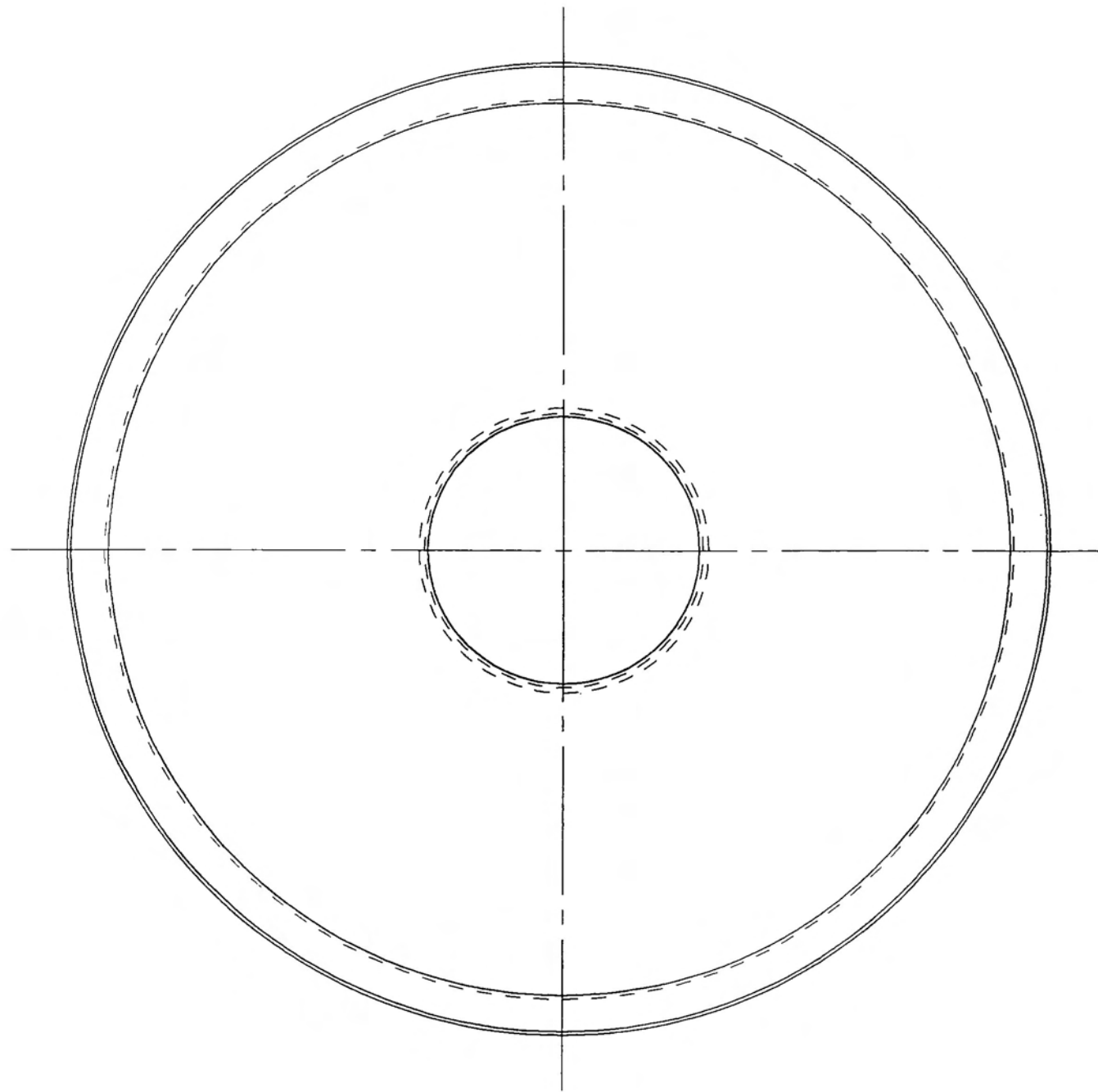
DATE		名称	
写図		交通信号用車両灯器	
製図		横形灯器 (1H33)	
		外觀図	
材質	設計	SIZE	DWG. NO.
処理・仕上	照査	A3	PV99S01001
承認		SCALE	CAD FILE
DO NOT SCALE DRAWING		SHEET	





NO.	部品名称	規格・寸法又は部品番号	材質・仕様	数量
1	本体		ADC-12	1
2	カバー (L)		ADC-12	1
3	カバー (C)		ADC-12	1
4	カバー (R)		ADC-12	1
5	インナーフレーム		ADC-12	2
6	パッキン		SSM	3
7	フード		A5052P 1.2t	3
8	ランプユニット			(3)
9	端子台Assy			1
10	フーローティングナット		SUS 304	3
11	締付ボルト	M8	SUS 304	3
12	ランプ押え金具		SUS 304	12
13	配線エルボ			1
14	ヒンジピン	φ6	SUS 304	6
15	スピードナット		SUS	12
16	十字穴付なべ小ネジ	M5×12	SUS	12
17	十字穴付タッピングネジ	M5×15	SS・ダクロ	14
18	リベット	φ3	SUS	12
19	リベット	φ3	SUS	6
20	Eリング	6	SUS	3

		DATE	名称	
写図			車両用交通信号灯器	
製図			3位式 (1H33)	
			内部構造図	
材質	設計		SIZE	DWG. NO.
処理・仕上	照査		A3	PV99S01002
DO NOT SCALE DRAWING		承認	SCALE	CAD FILE
			SHEET	REV.

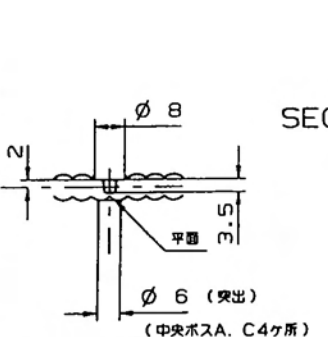
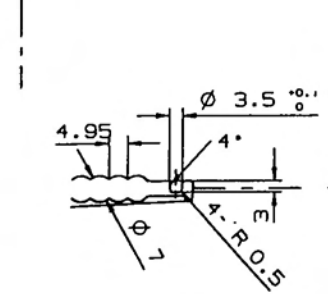
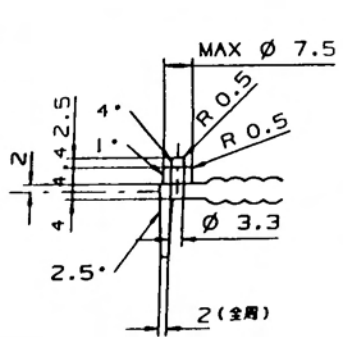
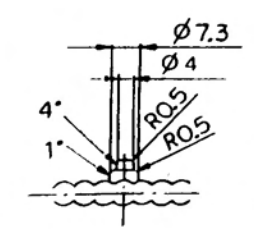
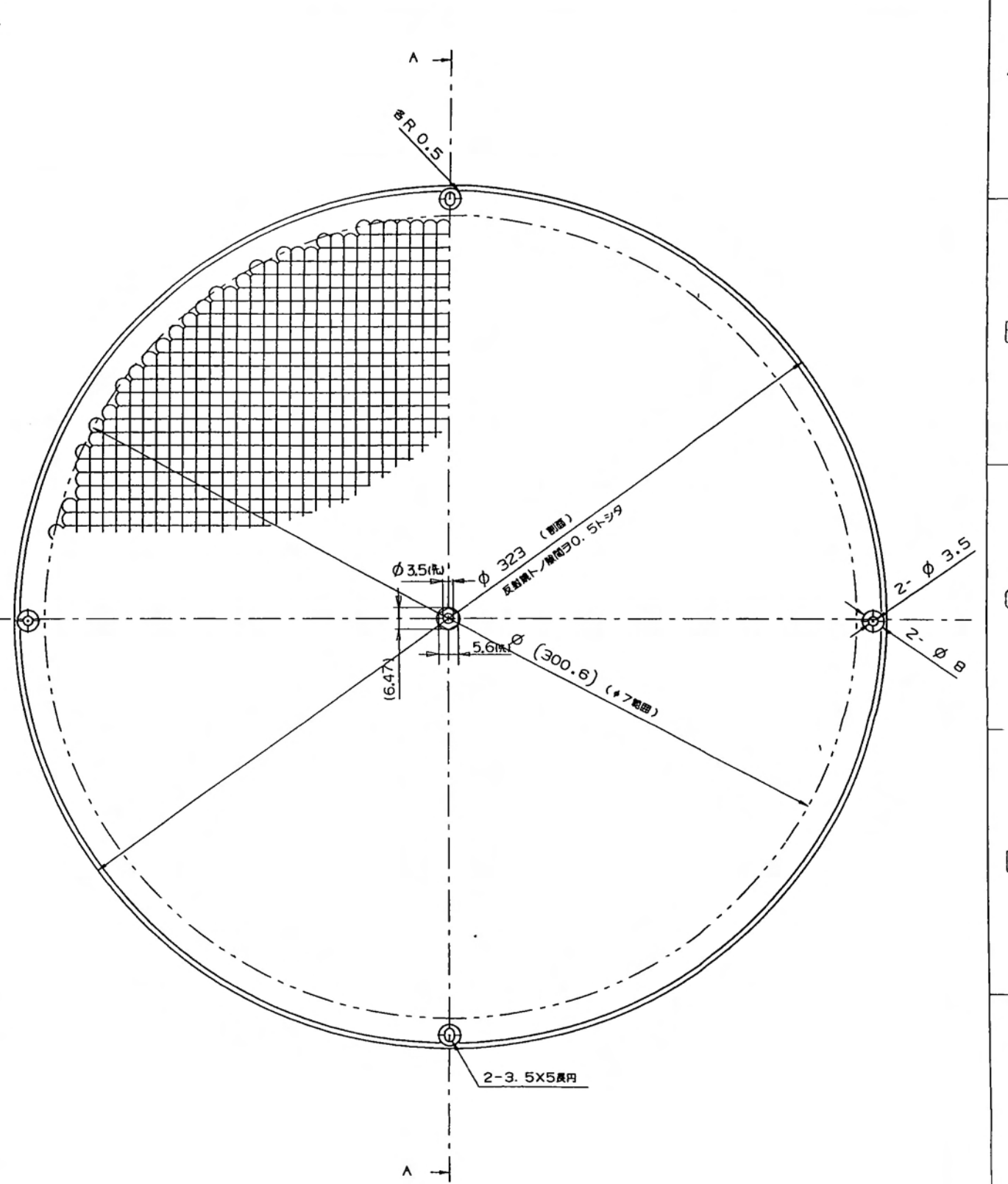
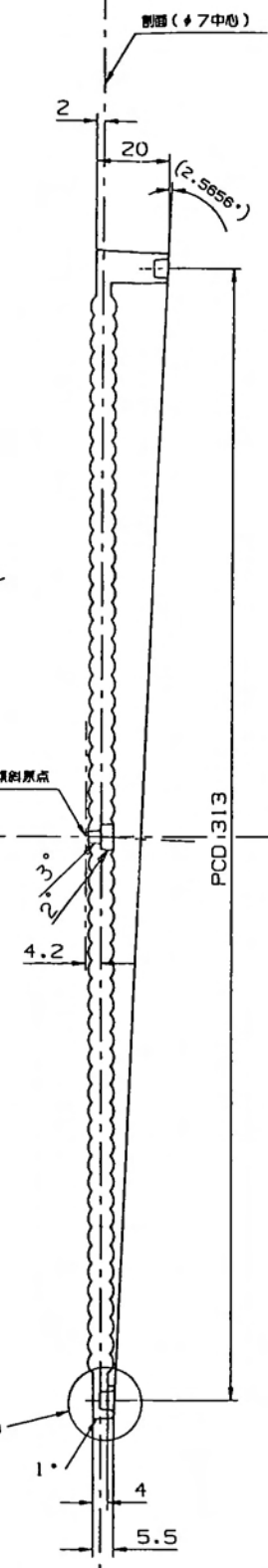
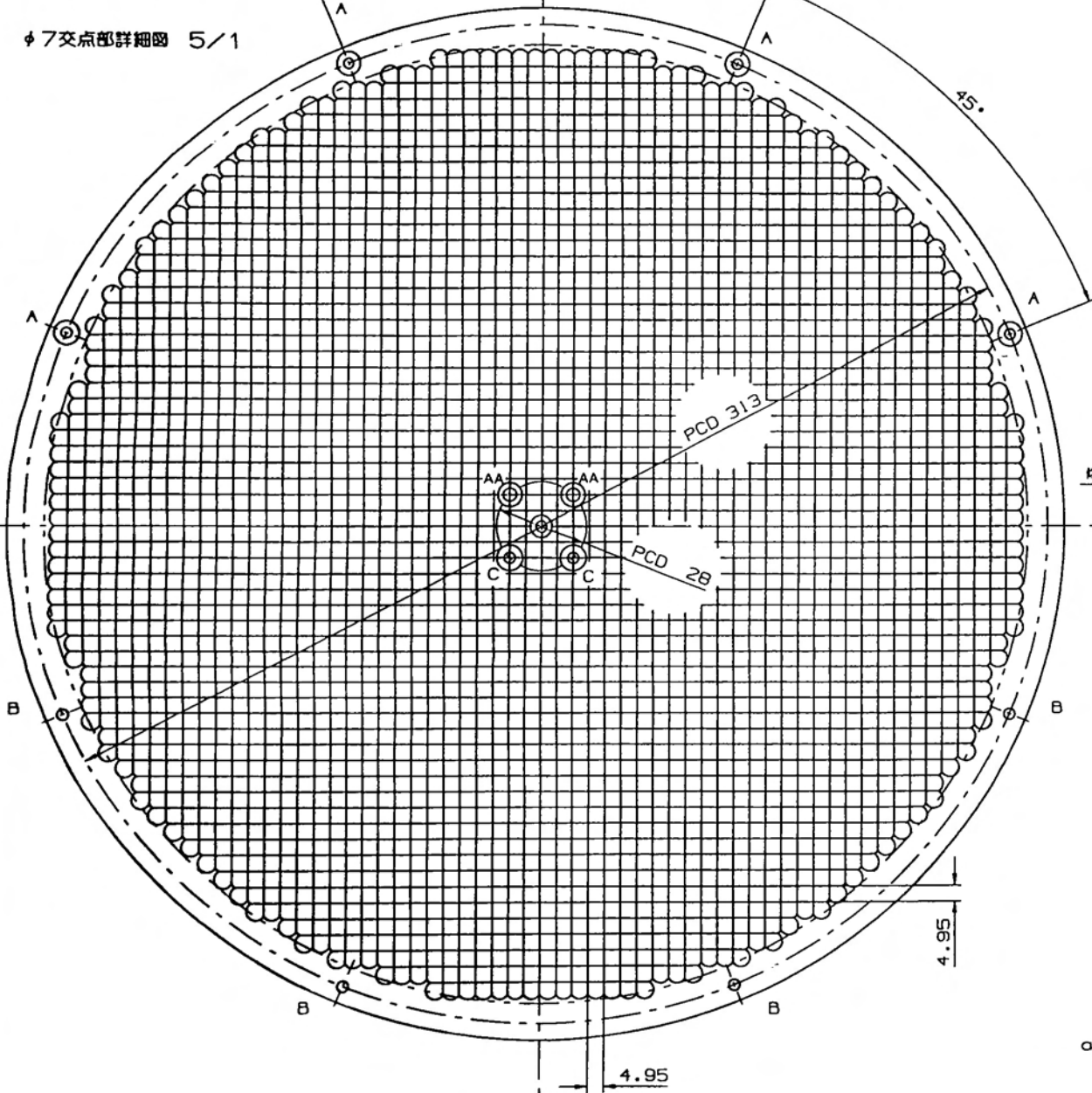
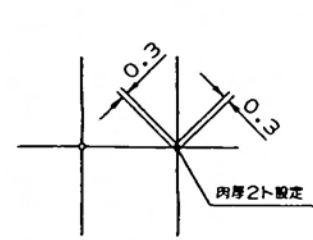


- 1.材質 : アルミ光輝度板 PL-1.2
- 2.バフ研磨後、電解研磨
- 3.表面処理 : アルマイト加工 3μ
- 4.反射率 80%以上

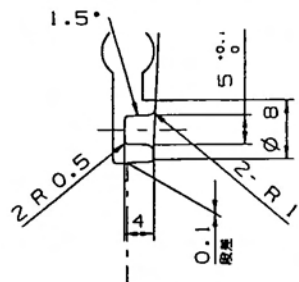
承認	検図	設計	製図	名称	反射鏡 (φ300)
三角法	尺度 1/2	日付	AUG.'95	図番	A3

記号	名称	材質	記事	数量





SEC. A-A



ホスAA(2ヶ所)

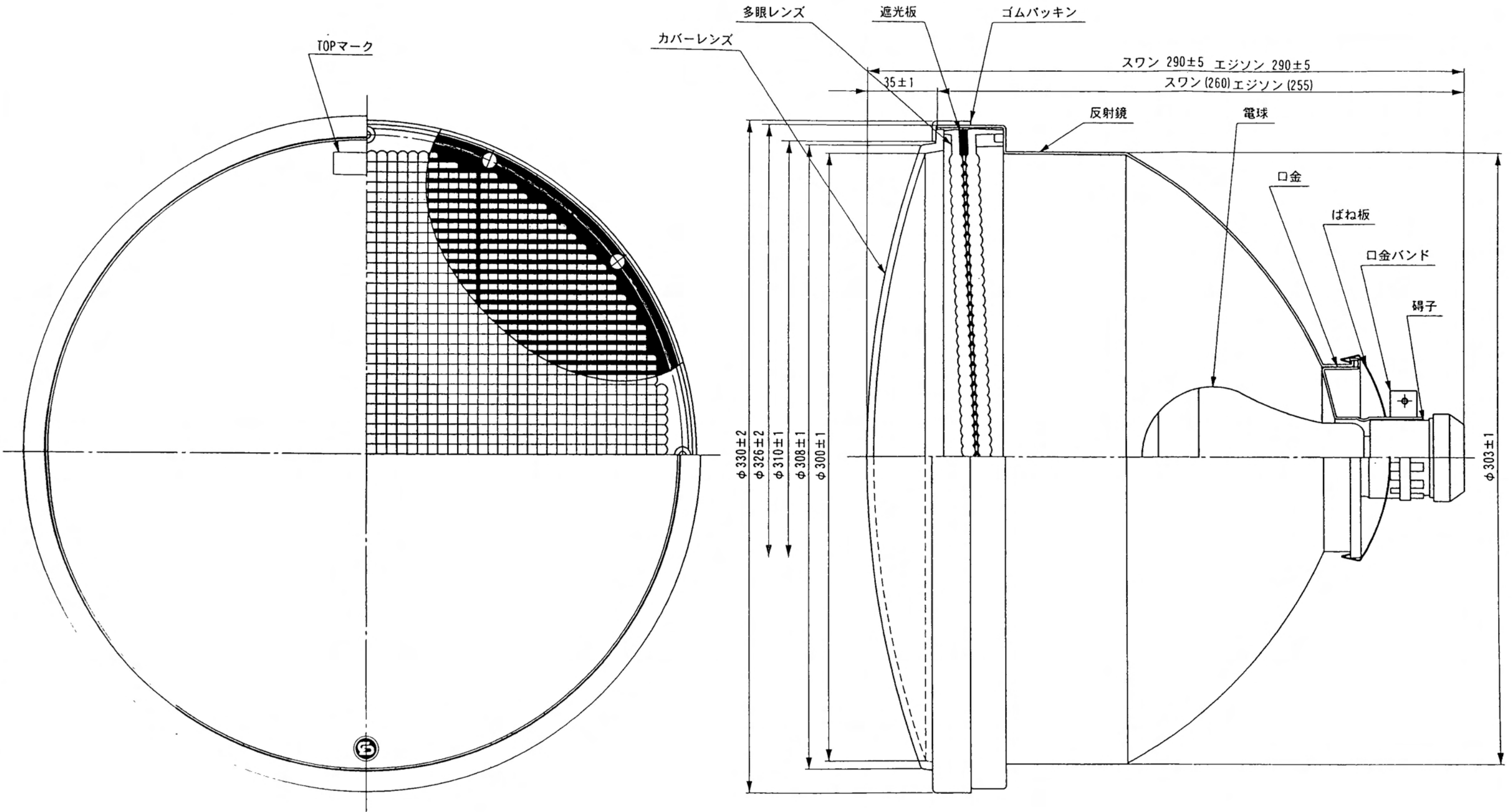
ホスA(4ヶ所)

ホスB(4ヶ所)

ホスC(2ヶ所)

a部詳細図 2/1

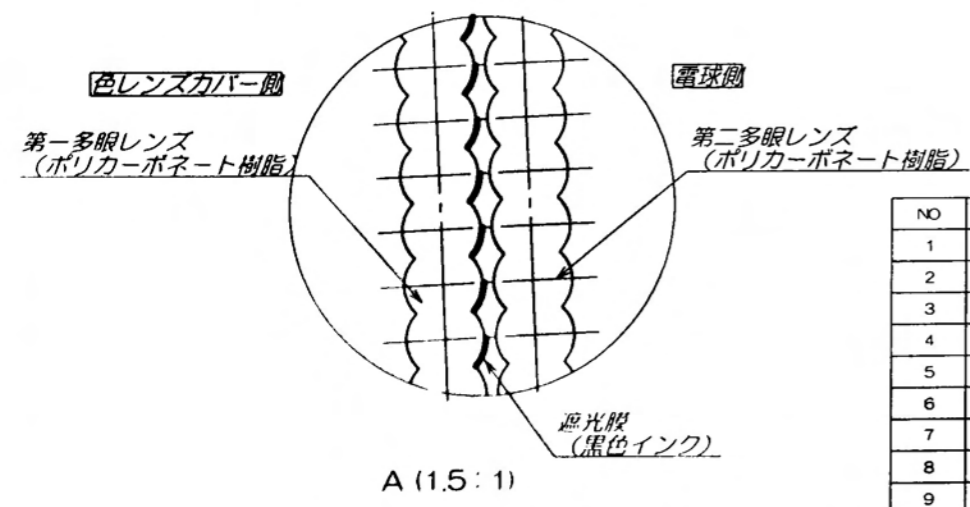
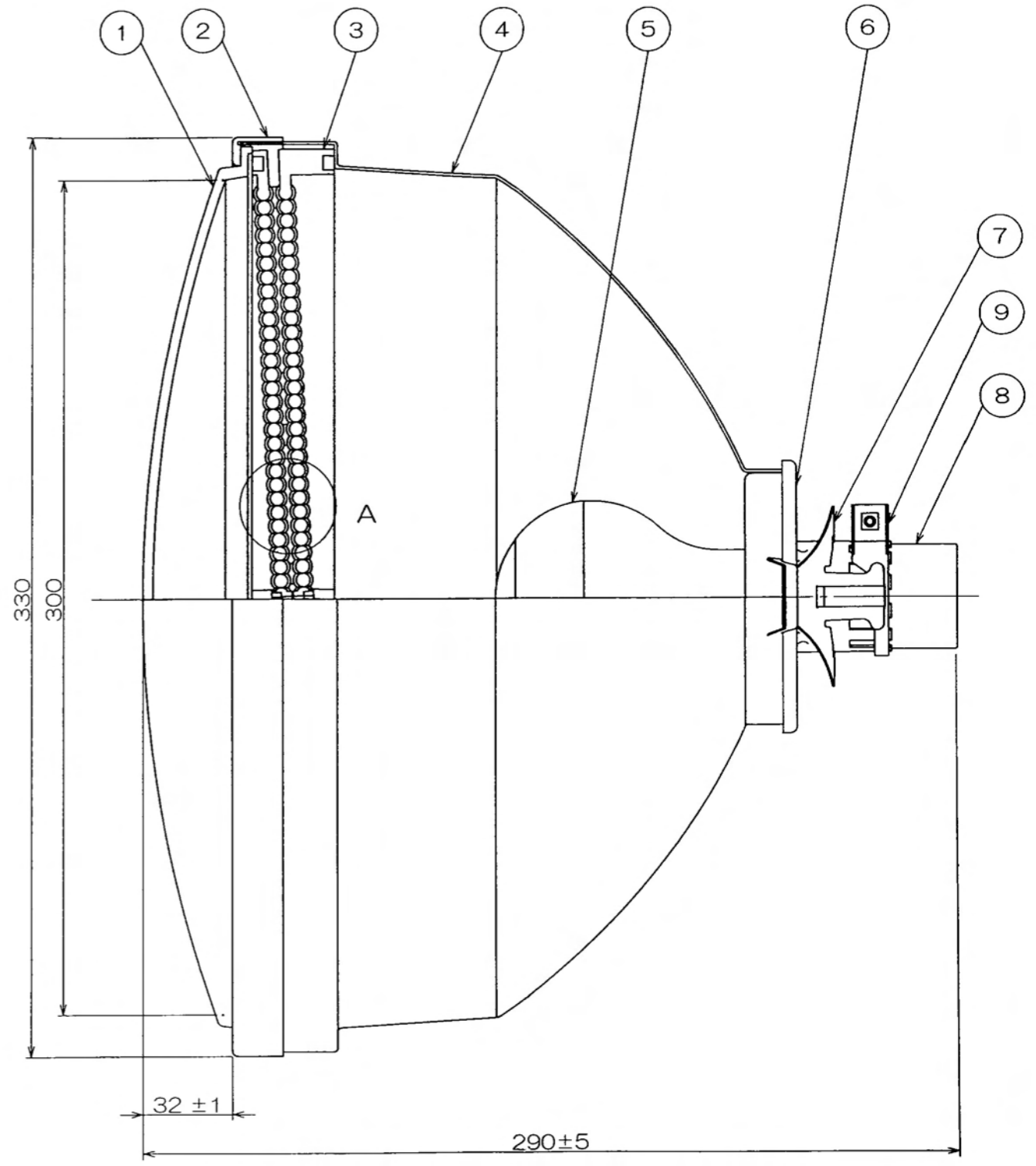
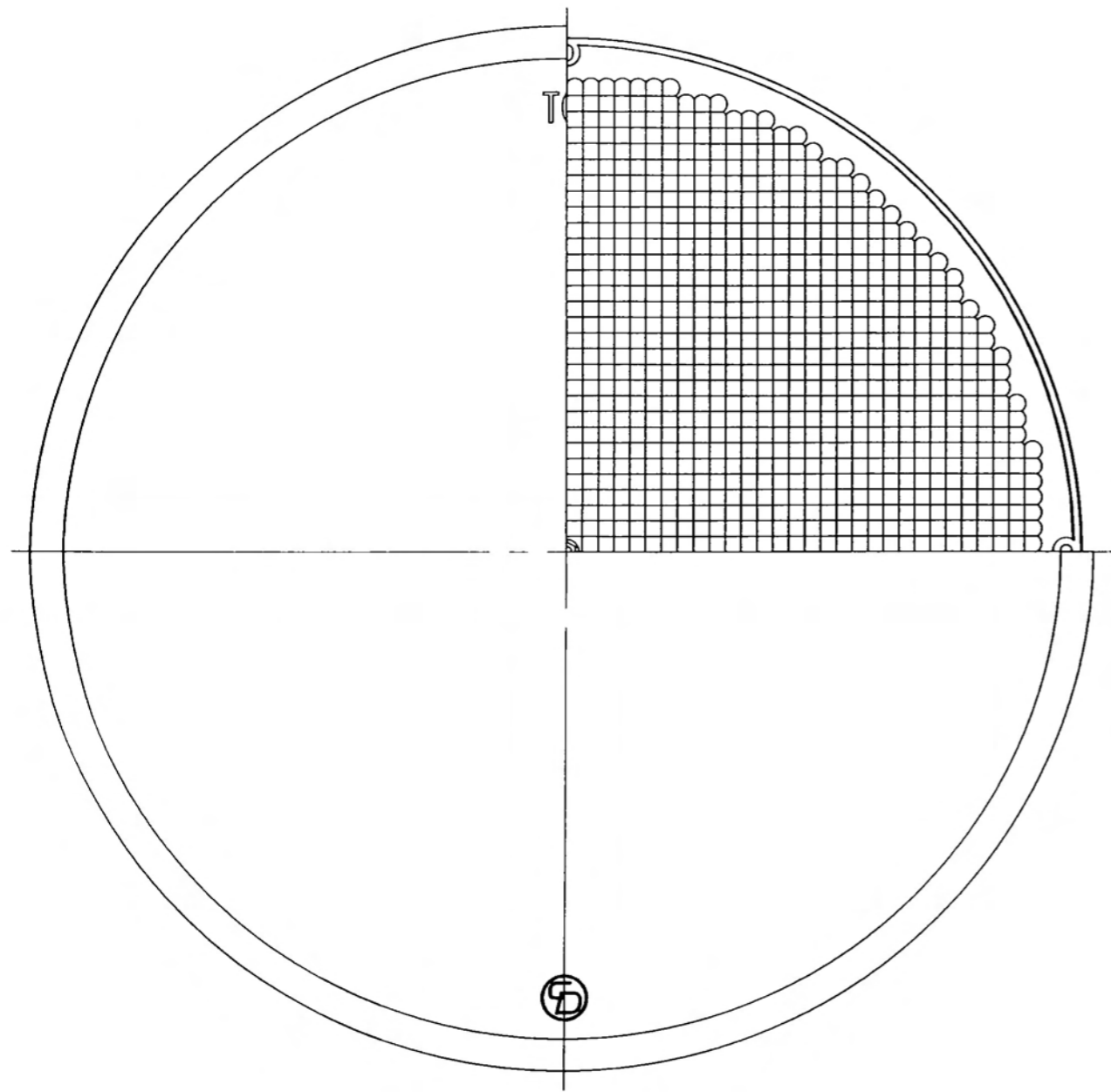
2					
1					
No.	品名	材質	製造	熱処理	備考
△	第三角法	承認	検閲	設計	φ7多眼レンズ φ300
△	調整	尺度	1/1		
△	設定内容	年/月/日			



ITEM NO	PART OR IDENTIFYING NO.	NOMENCLATURE OR DESCRIPTION	MATERIAL SPECIFICATION	QTY REQD
PARTS LIST				

CONTRACT NO.		95Aランプユニット (φ300) 外觀図		
APPROVALS	DATE			
DRAWN				
ENGR.				
CHECKED		SIZE	CODE	REV
VERIFY		A3	MP993010	
		SCALE	DWG NO.	SHEET





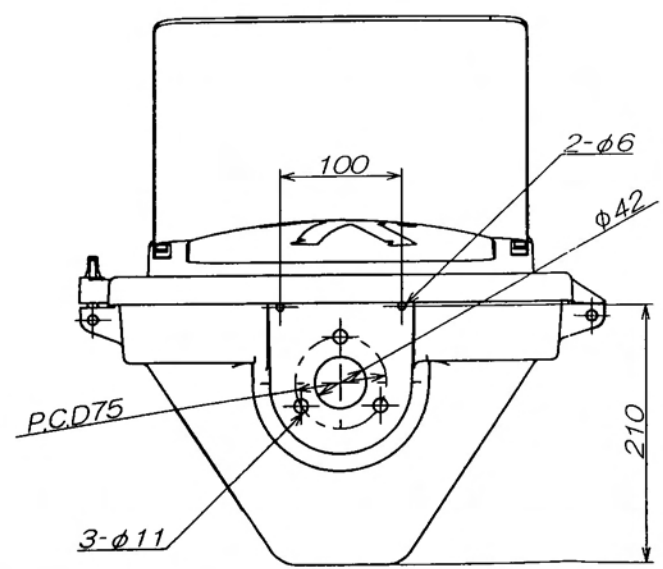
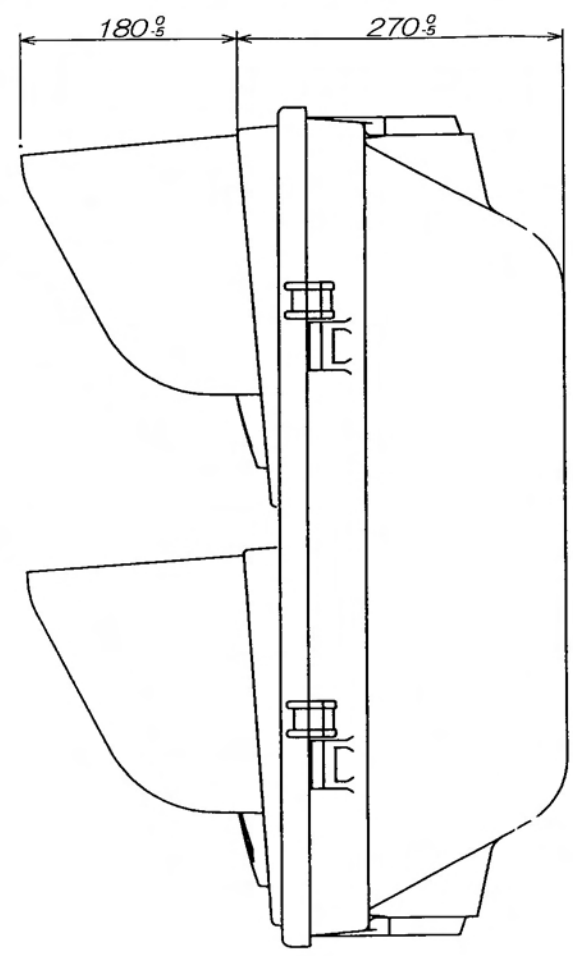
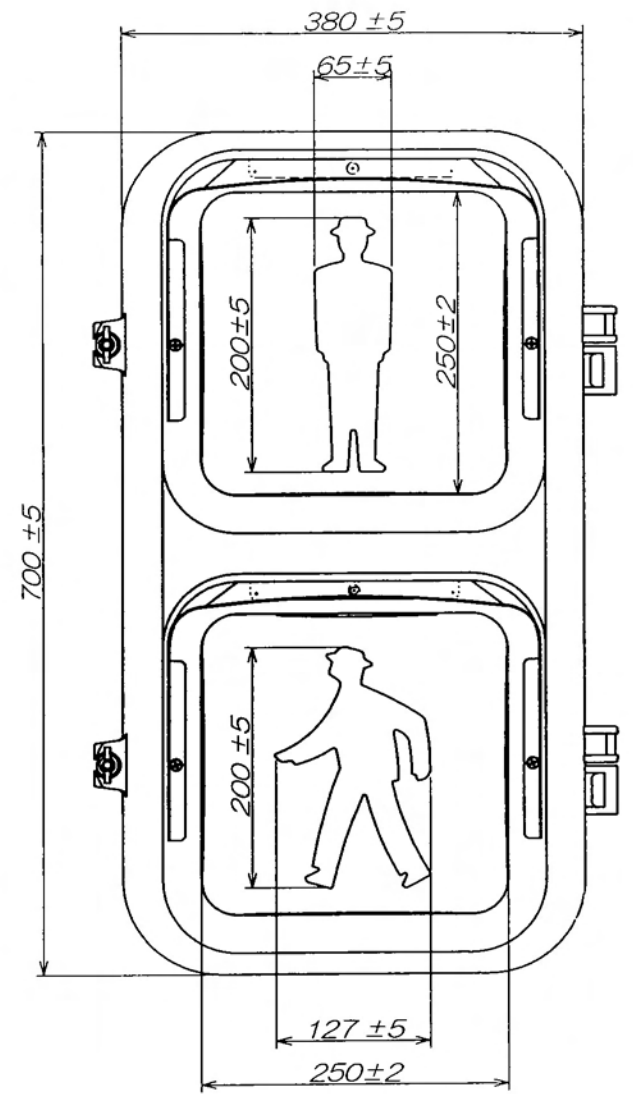
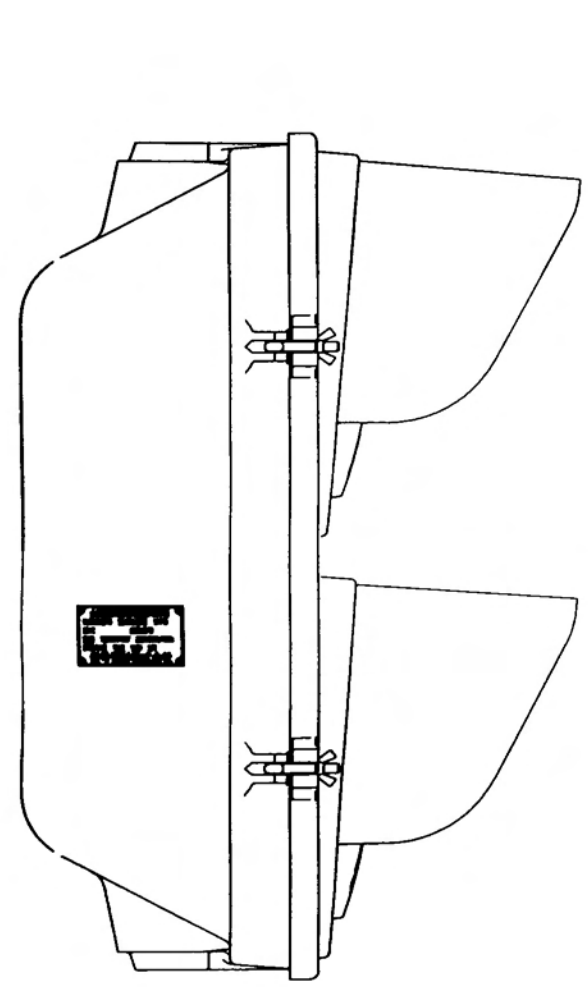
NO	部品名称	規格・寸法又は部品番号	材質・仕様	数量
1	カバーレンズ		アクリル	1
2	レンズバックギン		EPDM	1
3	多眼レンズAssy		ポリカーボネート	1
4	反射板		アルミ	1
5	電球	TS70F8		1
6	口金		SFCC	1
7	口金押え爪		SUS301/3/4H	1
8	端子			1
9	口金バンド		SFCC	1

		DATE	名称	
		写図	車両用灯器ランプユニット	
		製図	98B 外觀図	
材質	設計	SIZE	DWG. NO.	REV.
処理・仕上	照査	A3	PV99S08001	
DO NOT SCALE DRAWING		承認	SCALE	CAD FILE
				SHEET

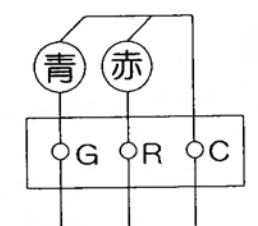




設計変更履歴				
REV.	変更内容	変更管理番号	DATE	担当



1. 内部配線図



2. 配線色

灯色	配線色	備考
赤	赤色	共通線は灰色とする
青	青色	

3. 塗装色

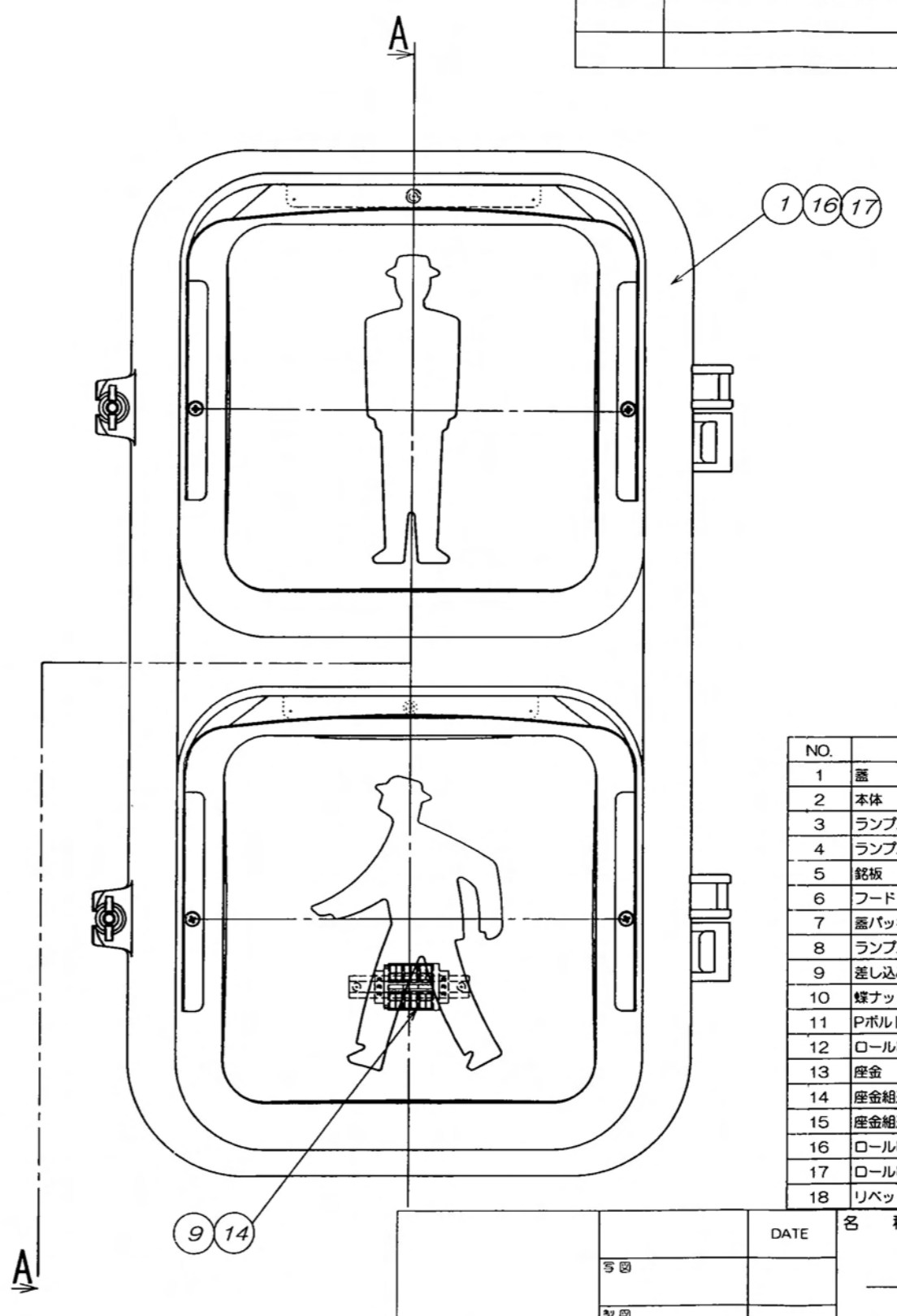
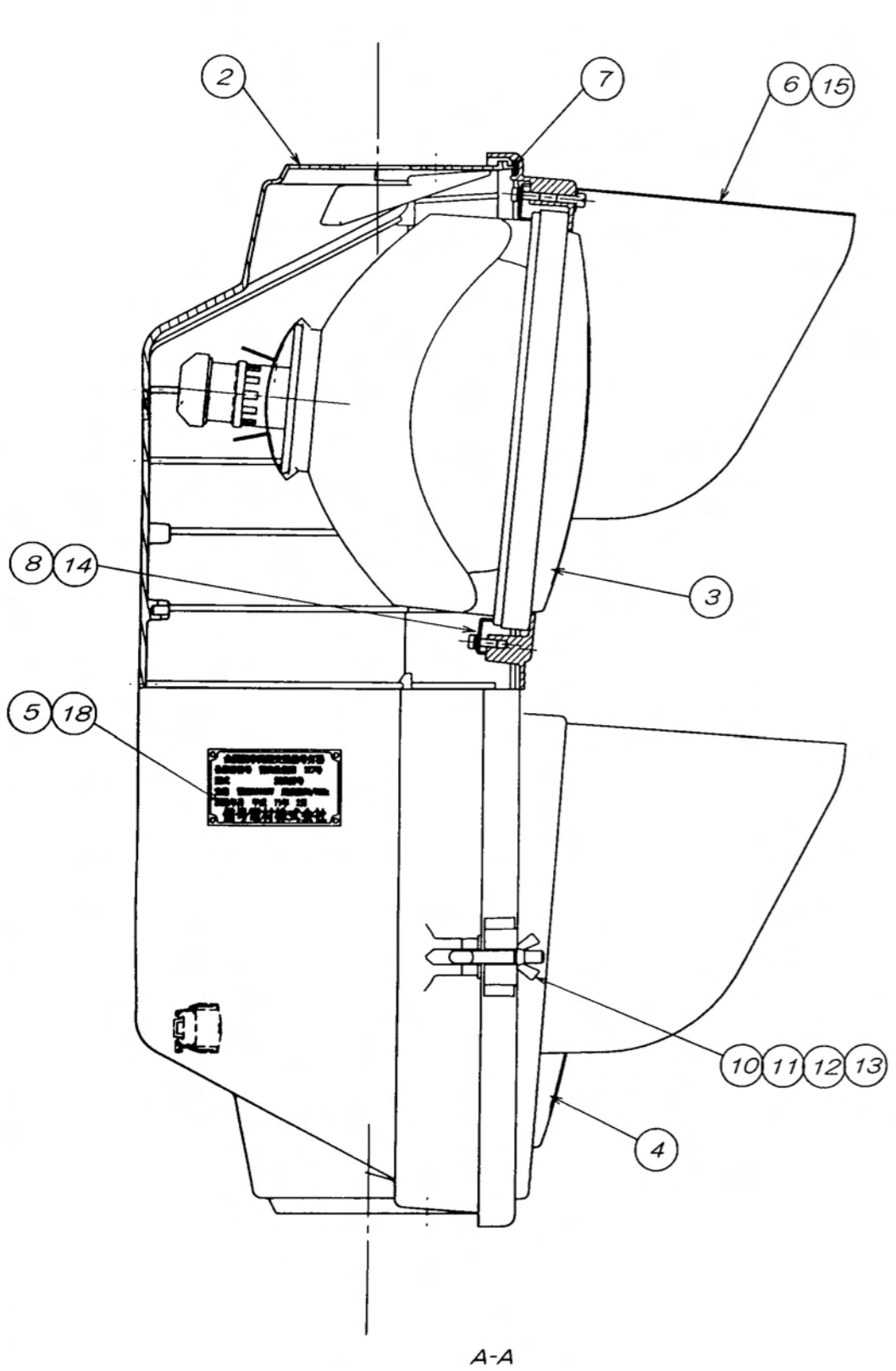
塗装部分	塗装色
灯器本体	マンセル 2.5PB7/2 (全艶)
フード	外側 マンセル 2.5PB7/2 (全艶)
	内側 マンセル N1.5 (艶消し)

4. 重量

※レンズ径は有効径とする。

DATE	名称	歩行者用交通信号灯器		REV.
写図	外觀図			
製図	SIZE	DWG. NO.	PV99S05001	
材質	設計	A3	SCALE	SHEET
処理・仕上	照査	CAD FILE		
DO NOT SCALE DRAWING	承認			

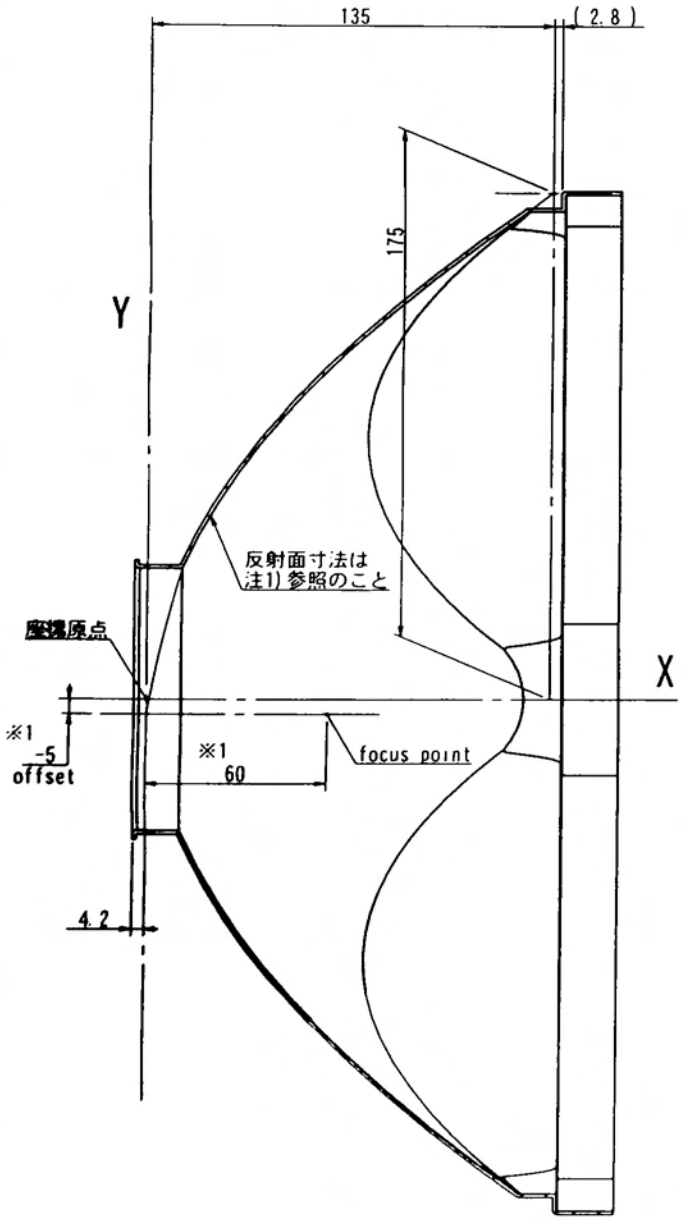
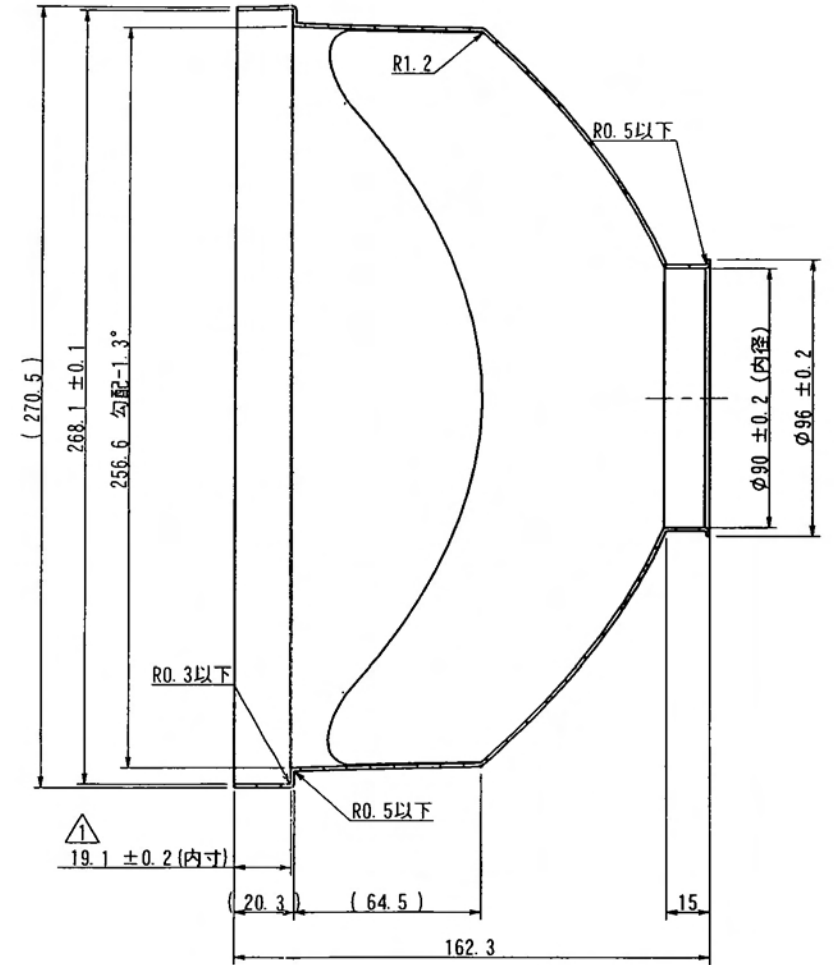
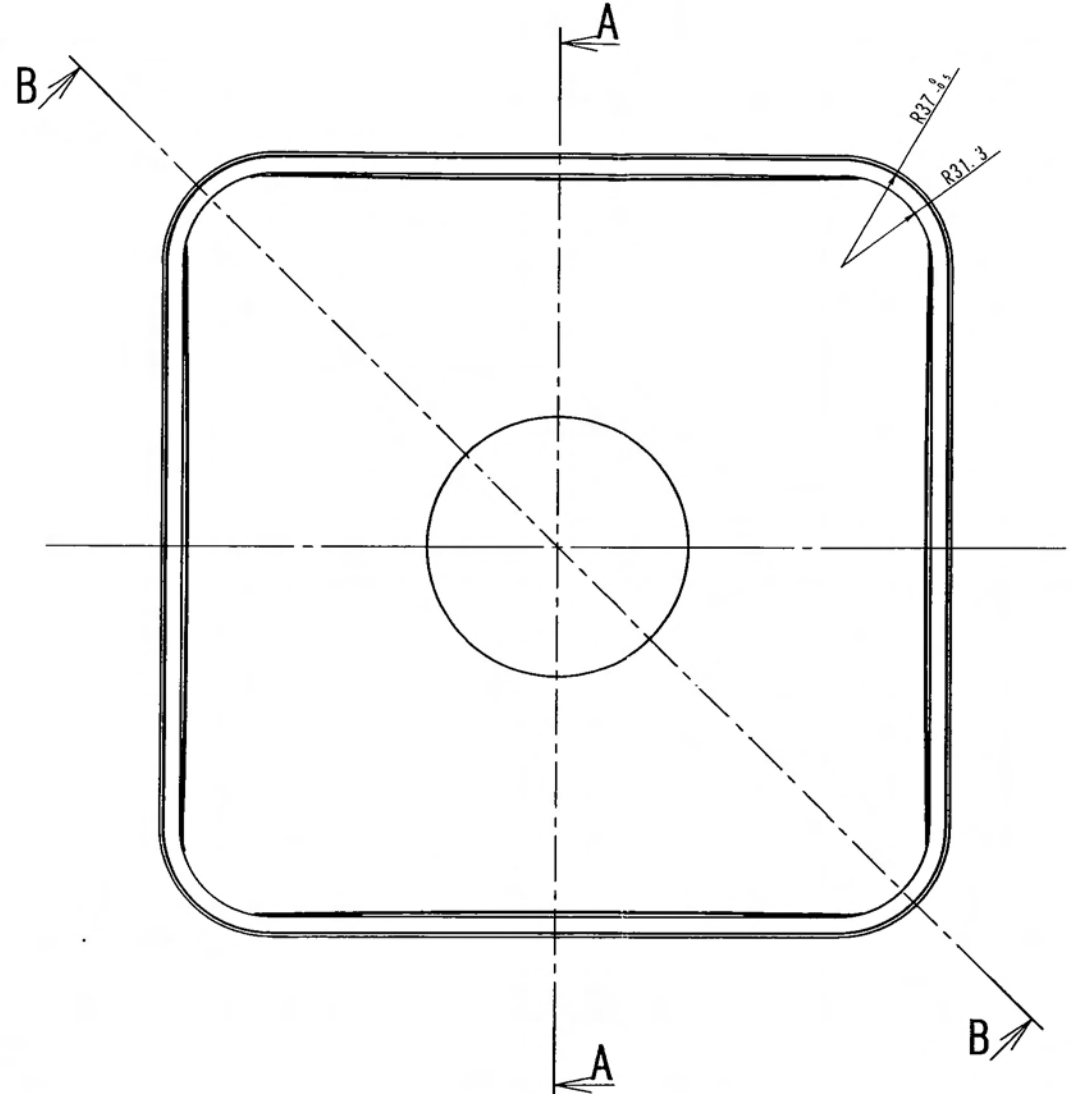
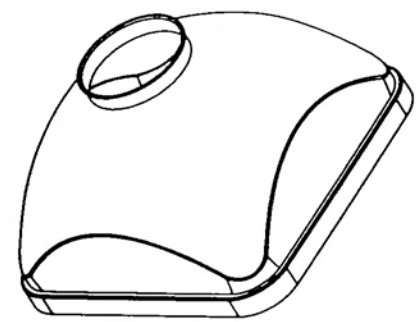
設計変更履歴				
REV.	変更内容	変更管理番号	DATE	担当



NO.	部品名称	規格・寸法又は部品番号	材質・仕様	数量
1	蓋		ADC12	1
2	本体		ADC12	1
3	ランプユニット (R)	PV99S07002		1
4	ランプユニット (G)	PV99S07001		1
5	銘板			1
6	フード		A1050	2
7	蓋パッキン		EPDM	1
8	ランプユニット押え金具		SPCC	8
9	差し込み式端子台Assy'			1
10	蝶ナット	M8	ニッケルメッキ	2
11	Pボルト	M8x50	ニッケルメッキ	2
12	ロールピン	8x25	SUS	2
13	座金	M8	ニッケルメッキ	2
14	座金組込み十字穴付きネジ	M5x15	SUS	10
15	座金組込み十字穴付きネジ	M5x12	SUS	6
16	ロールピン (上部)	8x60	SUS	1
17	ロールピン (下部)	8x65	SUS	1
18	リベット	73AS4-6		4

DATE	名称	歩行者用交通信号灯器		
写図	内部構造図			
製図	SIZE	DWG. NO.	REV.	
材質	A3	PV99S05002		
処理・仕上	承認	SCALE	CAD FILE	SHEET
DO NOT SCALE DRAWING				

設計変更履歴			
REV.	変更内容	DATE	担当
△	立上り高さ変更 (シフト性向上の為)		



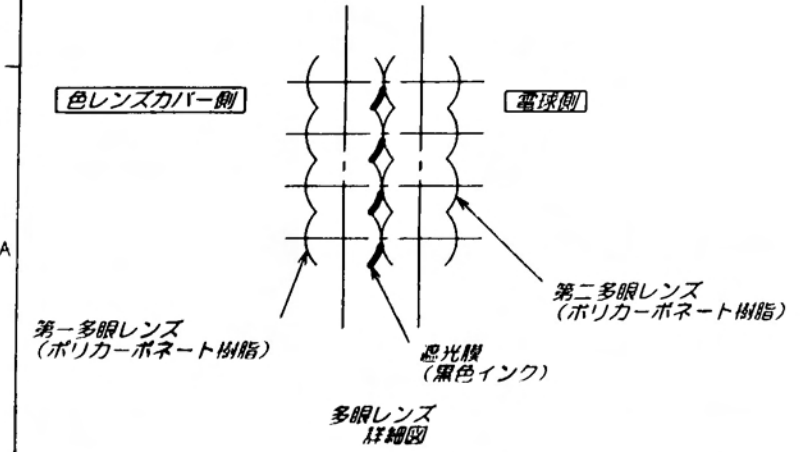
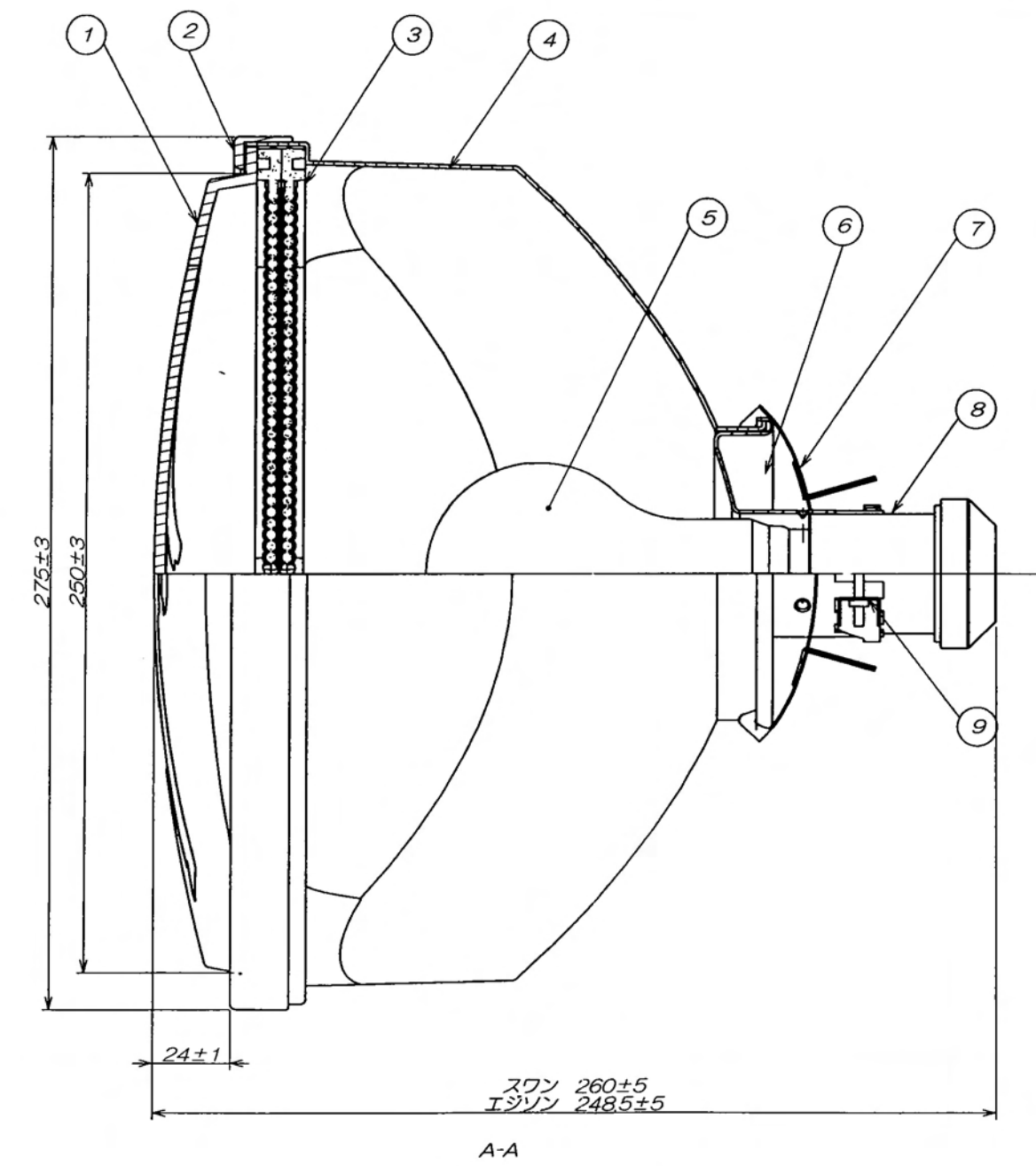
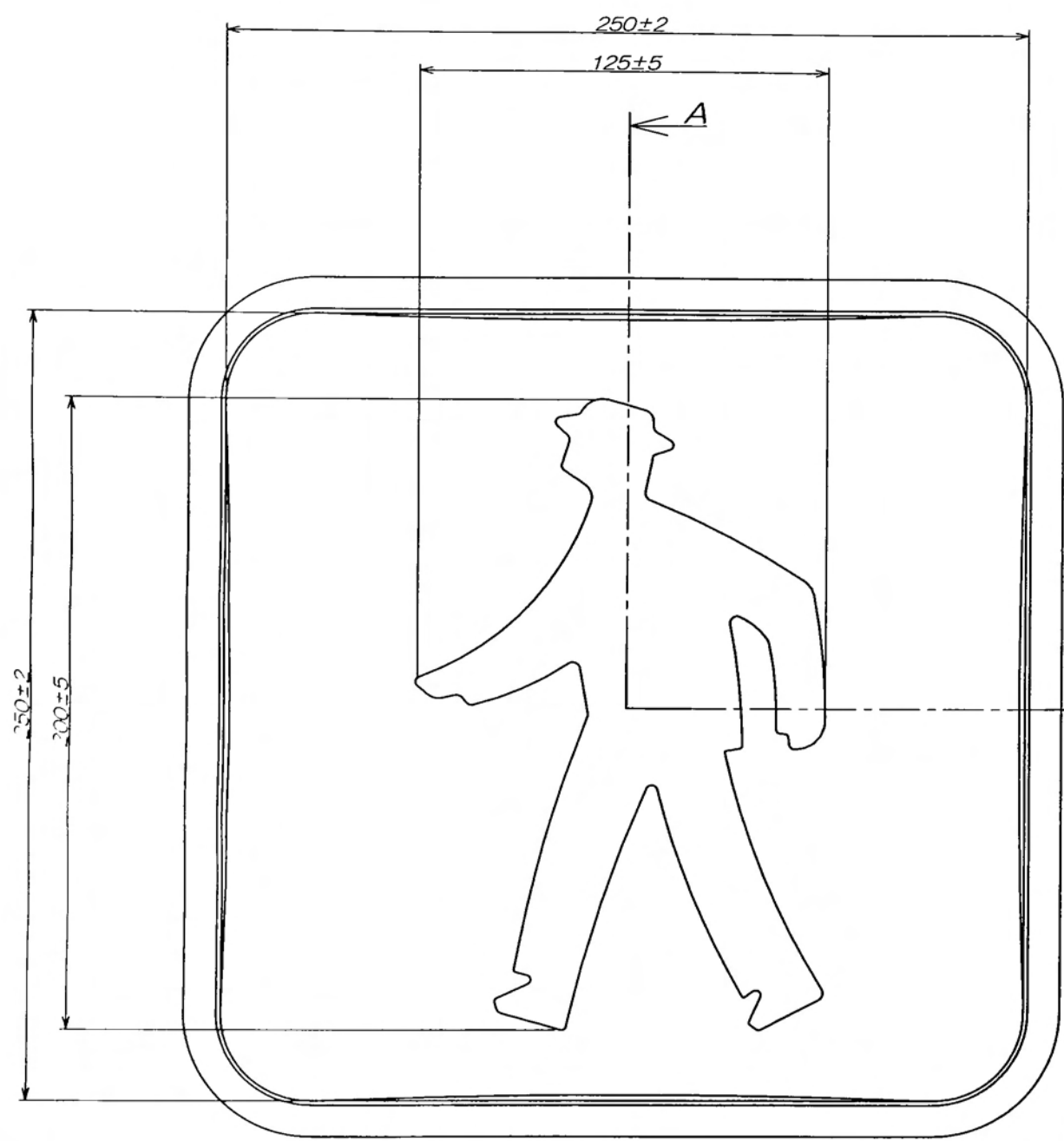
- 注1) 反射面 (内面) の寸法は下表の座標値による。  
 注2) 1 材質はアルミ (t=1.2とする)。  
 2 電解研磨後、アルマイト加工 (3μm以上) とする。  
 3 反射面の仕上は、限度見本による。  
 注3) ※1の寸法は光学設計上のものであり、金型製作には関係無し。

x座標	y座標
0	-5.00
0.5	5.95
1	10.49
2.5	19.49
5	29.64
7.5	37.43
10	43.99
12.5	49.77
15	55.00
17.5	59.81
20	64.28
25	72.46
30	79.85
35	86.65
40	92.98
45	98.92
50	104.54

x座標	y座標
55	109.89
60	115.00
65	119.90
70	124.61
75	129.16
80	133.56
85	137.83
90	141.97
95	146.00
100	149.92
105	153.75
110	157.48
115	161.13
120	164.71
125	168.21
130	171.64
135	175.00

DATE	名称	Reflector (Pedestrian type)		REV.
製図	設計	SIZE	DWG. NO.	A3
承認	照査	SCALE	CAD FILE	
DO NOT SCALE DRAWING		SHEET		

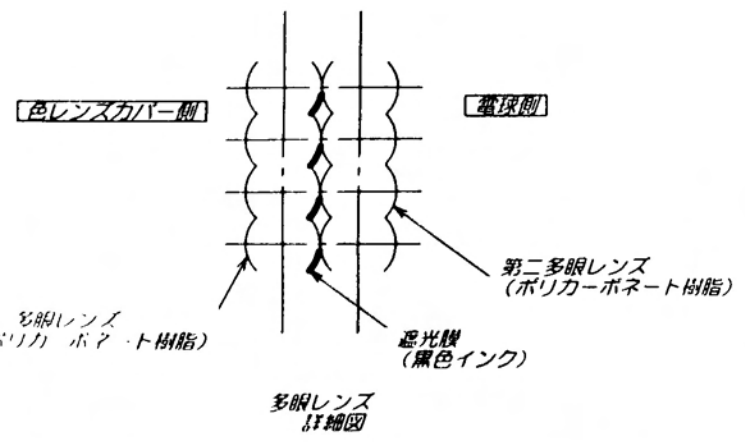
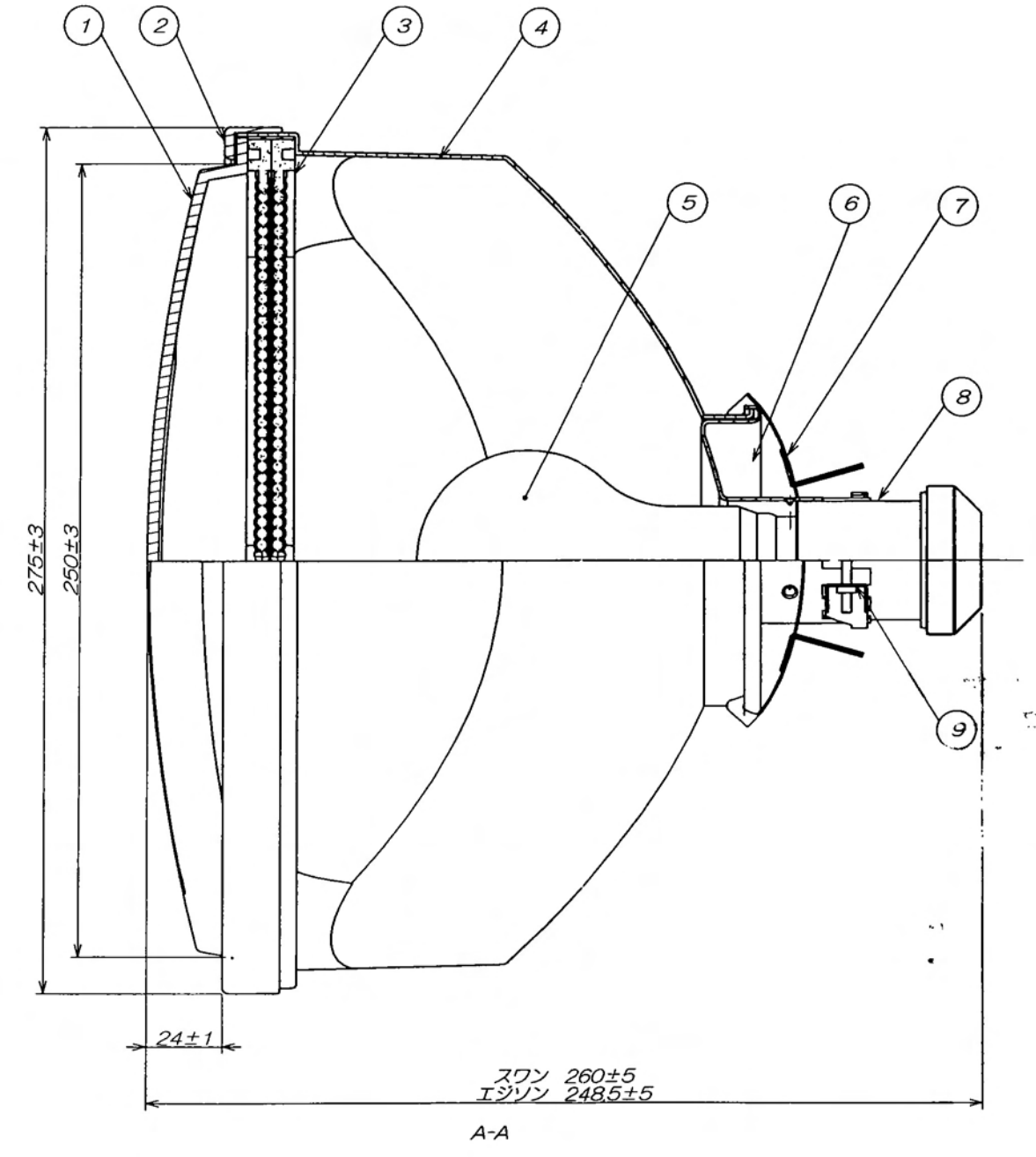
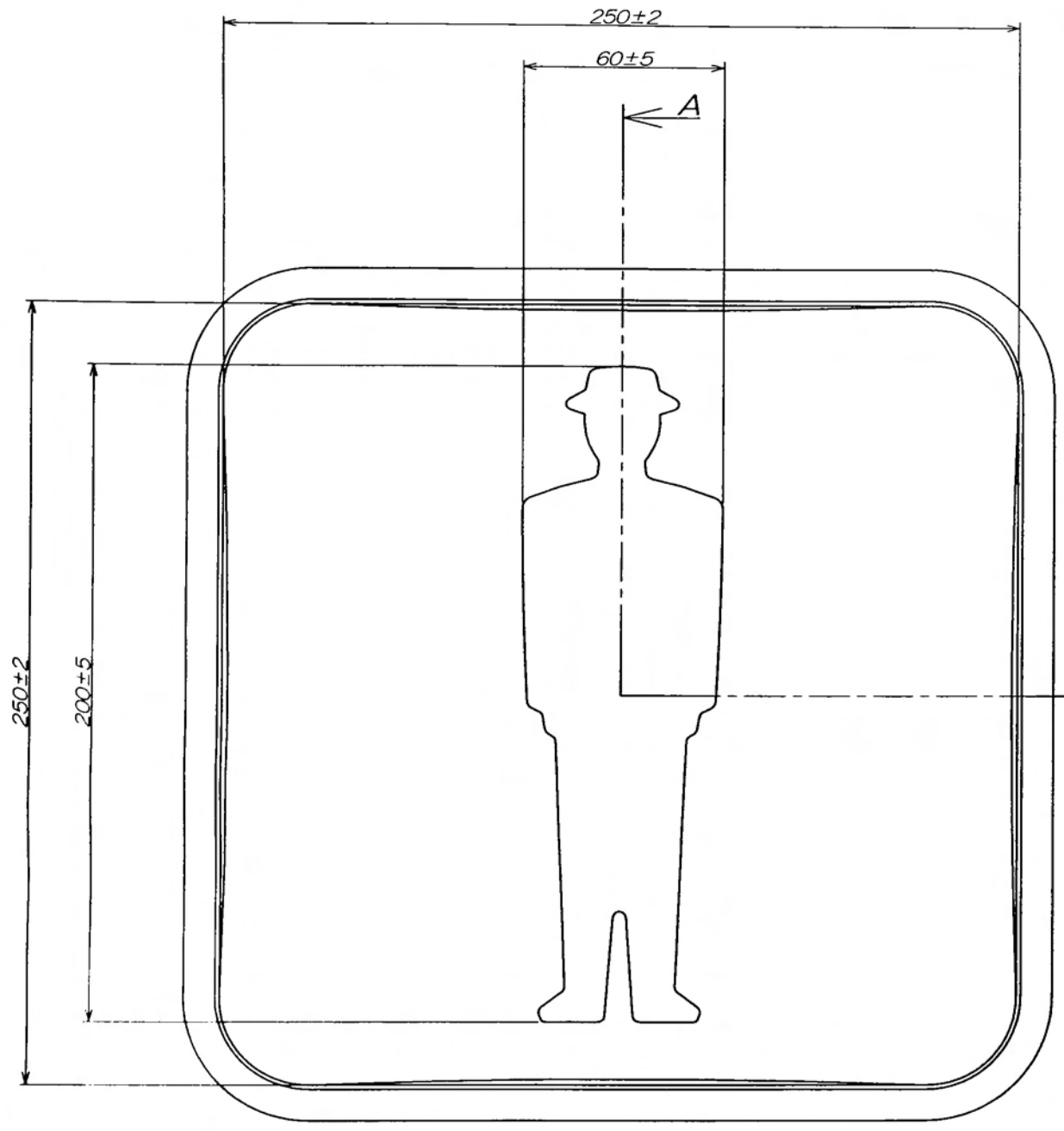
設計変更履歴			
REV.	変更内容	DATE	担当



NO.	部品名称	規格・寸法又は部品番号	材質・仕様	数量
1	カバーレンズ (青)		アクリル	1
2	レンズパッキン		EPDM	1
3	多眼レンズAssy'		ポリカーボネート	1
4	反射鏡		アルミ	1
5	電球	TSP 60B		1
6	口金		SPCC	1
7	口金押さえバネ		SUS301 3/4H	1
8	端子			1
9	口金バンド		SPCC	1

DATE		名称	
		歩行者灯器ランプユニット	
		(G) 外観図	
材質	設計	SIZE	DWG. NO.
		A3	PV99S07001
処理・仕上	照査	SCALE	CAD FILE
DO NOT SCALE DRAWING	承認	SHEET	

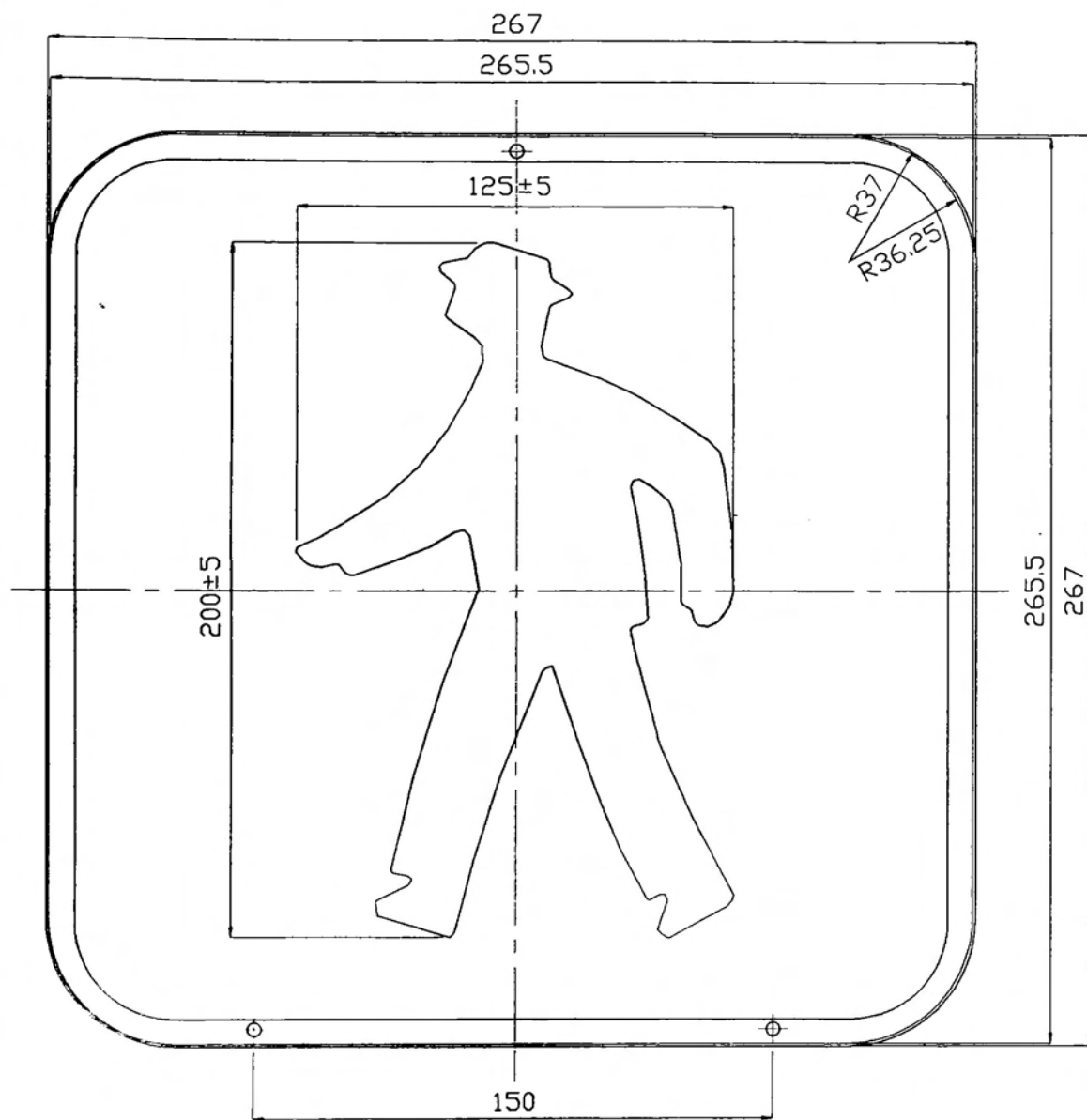
設計変更履歴			
REV.	変更内容	DATE	担当



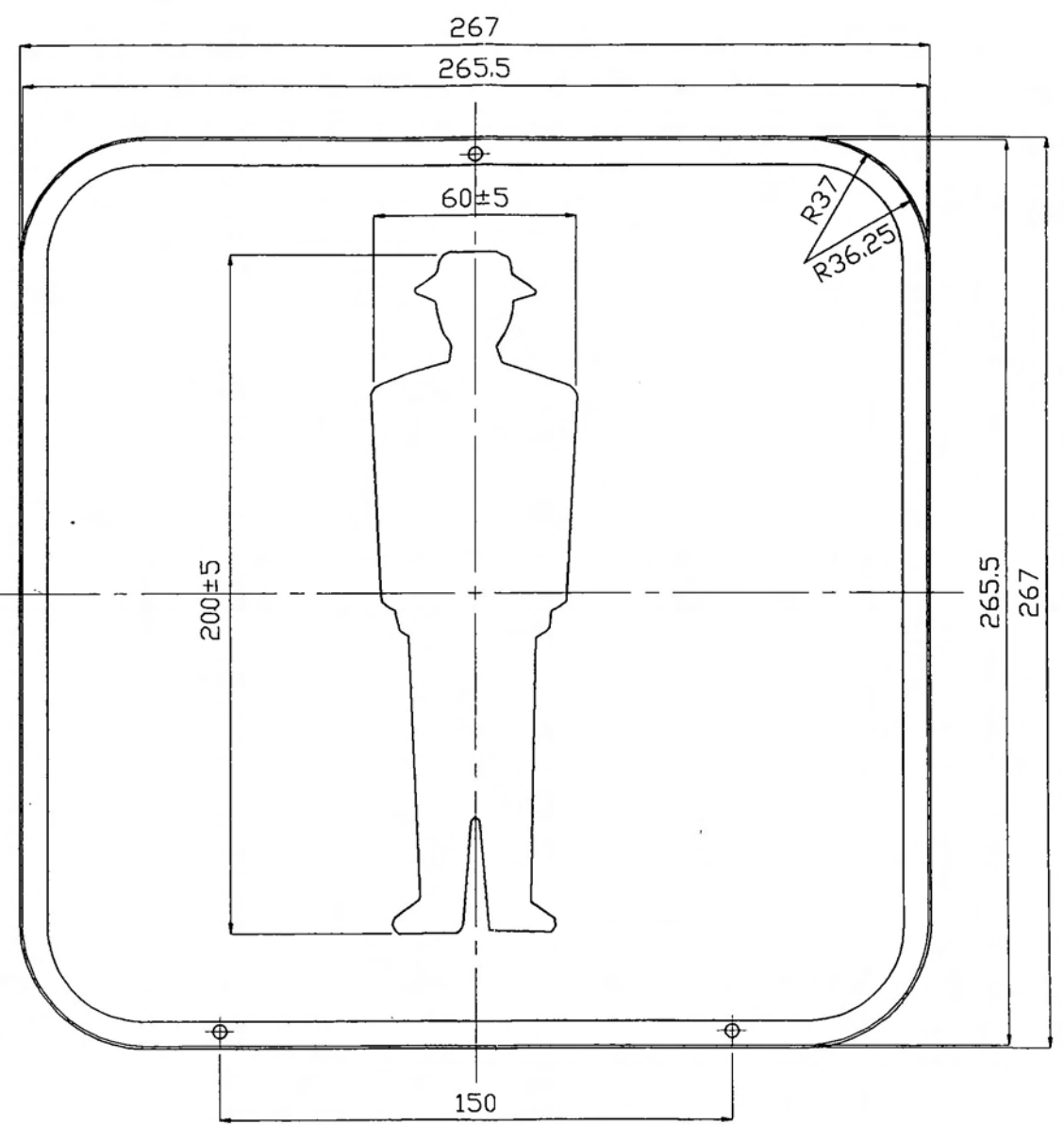
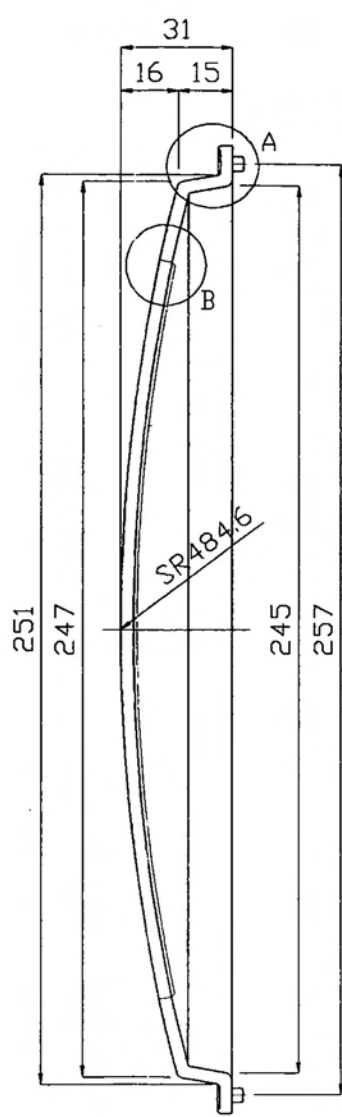
NO	部品名称	規格・寸法又は部品番号	材質・仕様	数量
1	カバーレンズ (赤)		アクリル	1
2	レンズパッキン		EPDM	1
3	多眼レンズAssy'		ポリカーボネート	1
4	反射鏡		アルミ	1
5	電球	TSP 60B		1
6	口金		SPCC	1
7	口金押さえバネ		SUS301 3/4H	1
8	端子			1
9	口金バンド		SPCC	1

		DATE	名称		
写図			歩行者灯器ランプユニット		
製図			(R) 外観図		
材質	設計		SIZE	DWG. NO.	REV
処理・仕上	照査		A3	PV99S07002	
DO NOT SCALE DRAWING	承認		SCALE	CAD FILE	SHEET

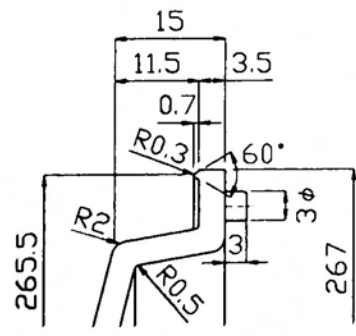
記号	訂正記事	氏名 年月日



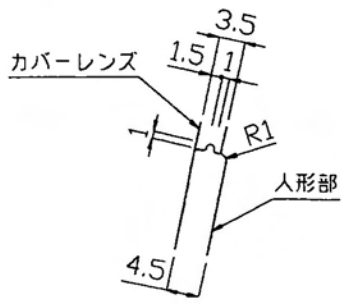
カバーレンズ(青)



カバーレンズ(赤)



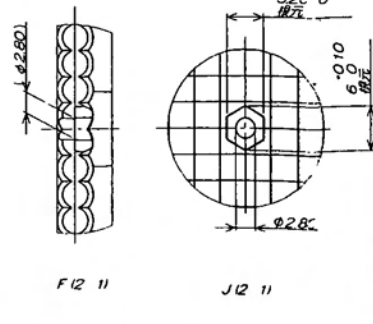
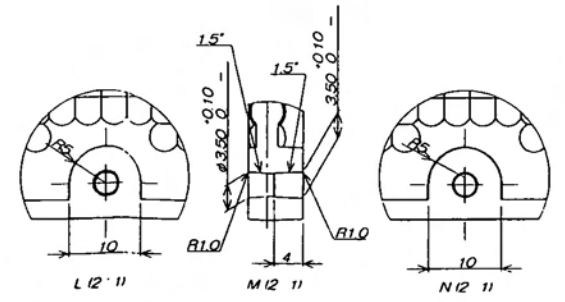
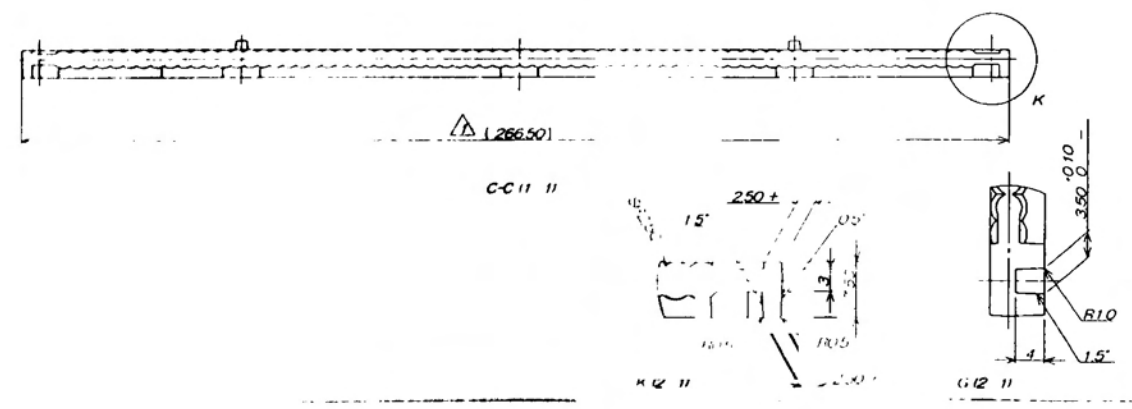
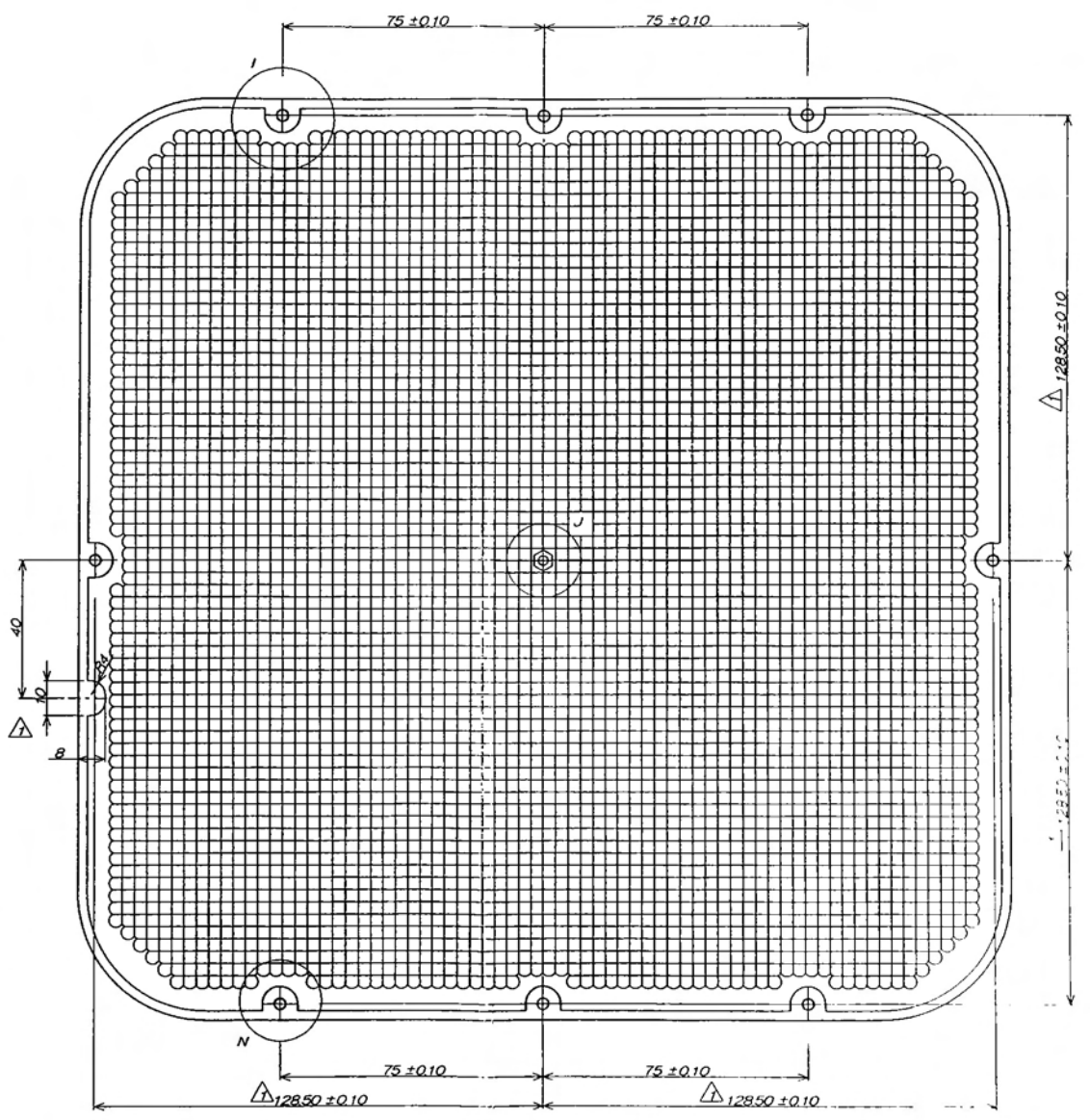
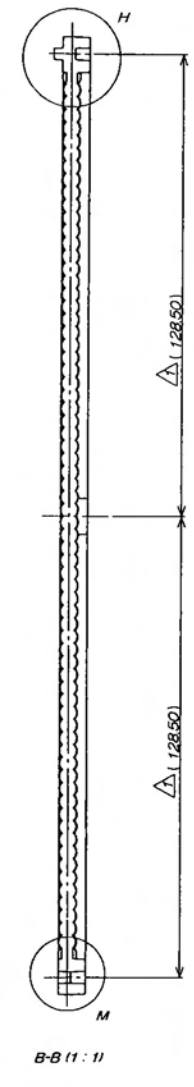
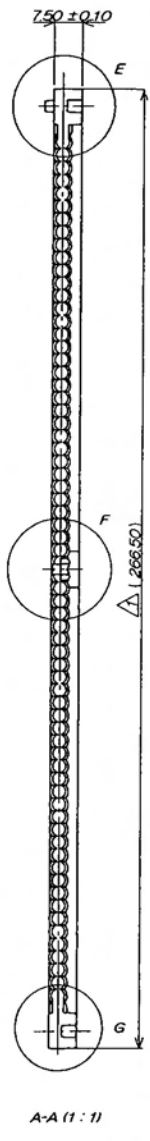
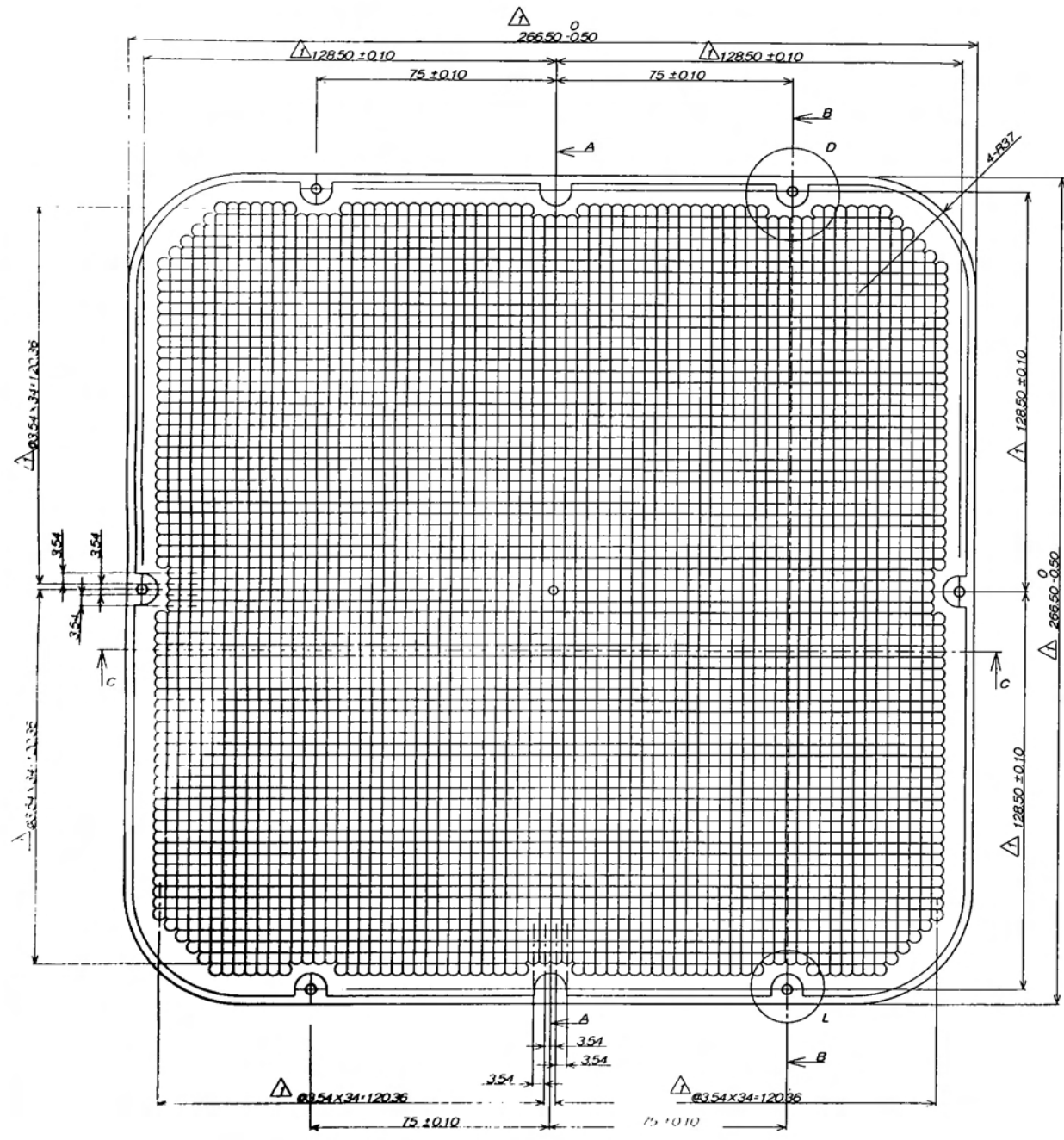
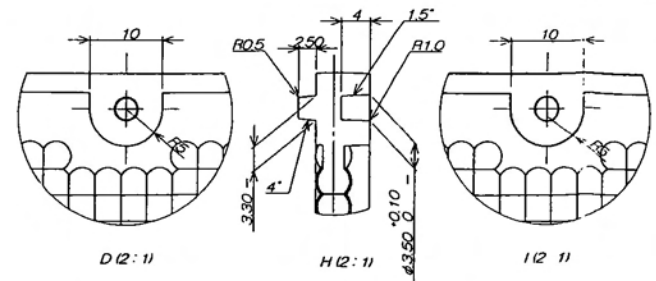
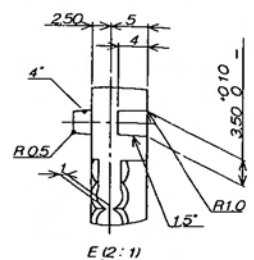
A部詳細図



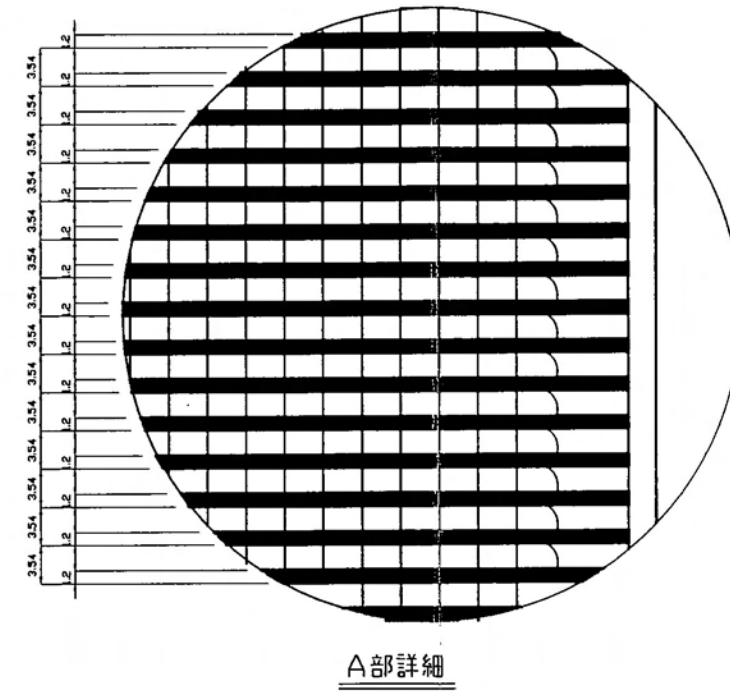
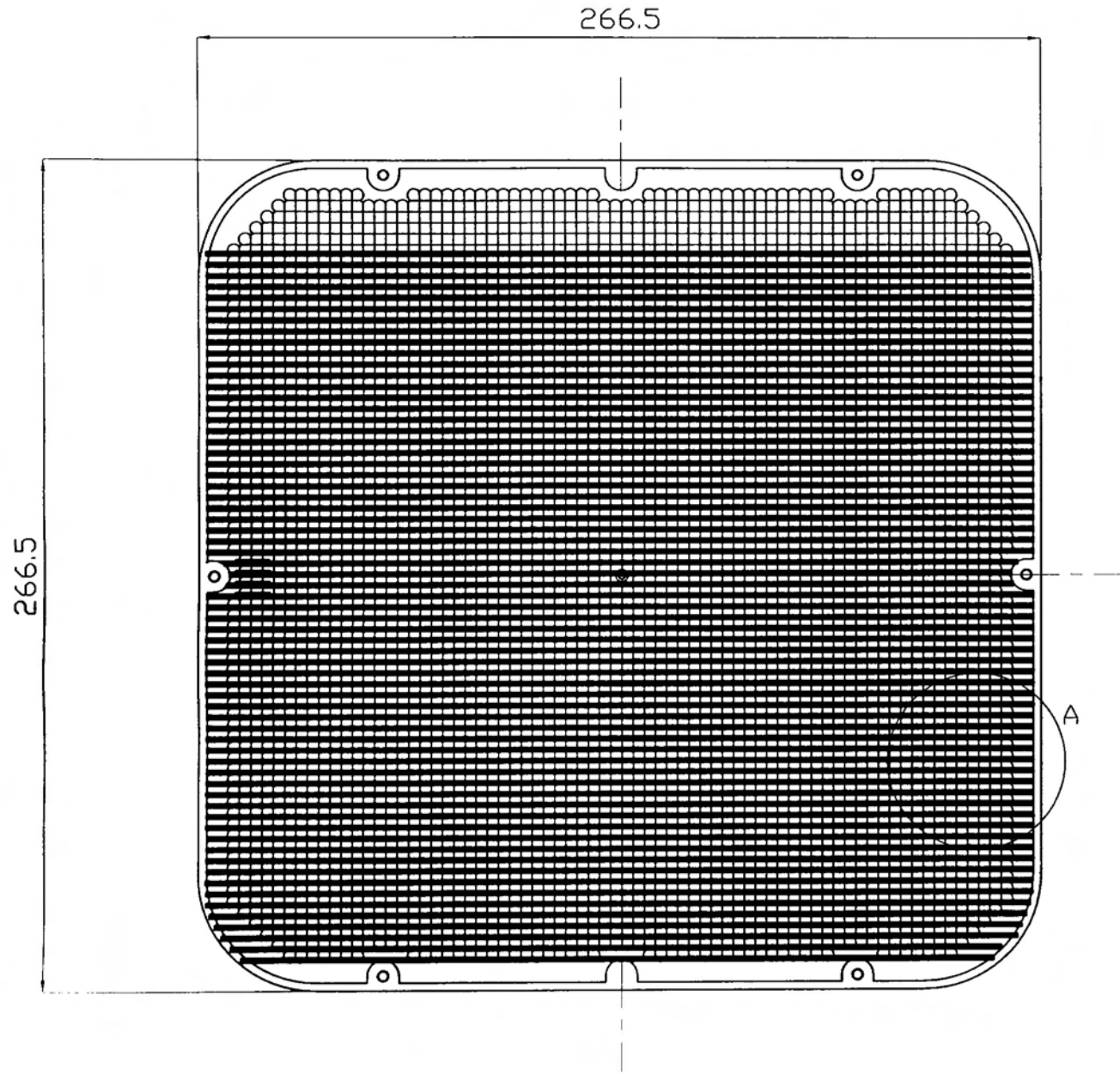
B部詳細図  
(人形部全周)

記号	名称	材質	記事	数量
名	歩行者用信号灯器 カバーレンズ	アクリル	DEC.'95	A3
称				
材	材質・寸法	処理・加工	塗装・記事	
尺	三角法	尺度 1/2	日付	
承	承認	検図	設計	
番			製図	

REV	変更内容	DATE	番号
△	形状、寸法変更		



NO	部品名	数量	DATE	番号
	φ5 多眼レンズ			
	歩行者用			
仕様	LS2 ホリウ-エプソ	SIZE	DWA1M1	1/1
材料	11L	材質	A1	1
EXPLANATORY DRAWING	3.12			



部番	名称	数量	材質	仕様
物件名				
尺度	— — — — —			設計番号
設計	製図	検図	写図	製品番号
				図名称 歩行者多眼レンズ プリントパターン
図番				



## 参 考 論 文