

## 点光源方式赤外ベーリンググレア計測装置の研究

工藤 順一・西岡 俊治・原崎亜紀子・杉井 正克・谷川 邦廣

防衛庁技術研究本部第2研究所 〒154-8511 東京都世田谷区池尻 1-2-24

### Study on Infrared Veiling Glare Measurement System Using a Point Light Source

Junichi KUDO, Shunji NISHIOKA, Akiko HARASAKI, Masakatsu SUGII and Kunihiro TANIKAWA

Second Research Center, Technical Research and Development Institute, Japan Defense Agency, 1-2-24 Ikejiri, Setagaya-ku, Tokyo 154-8511

This paper describes study on infrared veiling glare measurement system which covers typical two imaging wavelength bands of 3-5 and 8-12  $\mu\text{m}$ . We propose a new type of glare measurement system using a point light source method. In this study, stray light spatial distribution was measured when used a simple combination lens consisting of uncoated ZnSe concave flat lens and ZnSe parallel plate. The experimental results measured were agreed well with a calculation based on stray light analysis for two times reflection of lens surface. In addition, veiling glare accuracy of this system was estimated by comparing theoretical spot intensity distribution of ideal lens and experimental data when measured veiling glare of commercial-base middle-infrared imaging lens by using a single-frequency He-Ne laser oscillating at 3.39  $\mu\text{m}$ . As a result, the veiling glare accuracy of 0.16% was estimated. These results showed that this system was available for veiling glare measurement of infrared imaging lens. Furthermore, the veiling glare of DOE (Diffractive Optical Element) was also measured by using this system.

**Key words:** veiling glare, point light source method, thermal infrared imaging lens

#### 1. 序 論

一点から射出して理想的な結像光学系を通った光線は、すべて一点に結像するはずである。しかし、実際の光学系においては、回折・収差が存在するほか、レンズ面や鏡筒面などで反射あるいは表面散乱が起こるため、その点像はかなり広がった分布となる。また、赤外光学系においては、レンズや鏡筒などの光学系自身が熱をもち、そこから放射した赤外光が像面に到達する。これをシェーディング (shading) といい、検知器の検知面全体に比較的なだらかな照度分布をもつ。また、検知器が低温に冷やされていると、そこからの赤外線放射量は検知器以外の放射量よりも極端に少ない。このため検知器面上で急勾配の照度分布をつくることもあり、これをナルシサス (nulsisus) という。収差を除き、点像分布を広げるこれらの非正常光は迷光とよばれ、像のコントラストを悪化させる原因となっている。光学系の迷光は、上に述べた原因による各成分が重な

って出現するが、赤外光学系において視野の中に太陽光等の高輝度の目標がある場合には、目標光の光学系表面での多重反射や散乱に起因する迷光成分が最も顕著であり、ゴースト像が現れることもある。この現象をベーリンググレア (veiling glare) といい、ナルシサスやシェーディングが入射光強度に依存しないのに対して、ベーリンググレアによる迷光成分は、入射光強度に依存するという特徴がある。近年開発された熱映像撮像光学系の設計においては、シェーディングやナルシサスを低減するために、開口整合方式の赤外線レンズの設計手法が用いられている。一方、これまでベーリンググレアを低減するための光学設計には、十分な配慮がなされていないのが現状である。筆者らは、迷光成分を局限した将来の赤外光学レンズの設計に資することを目的として、熱映像撮像光学系のベーリンググレア量を定量的に計測できる装置を開発し、その有効性を検証したので報告する。

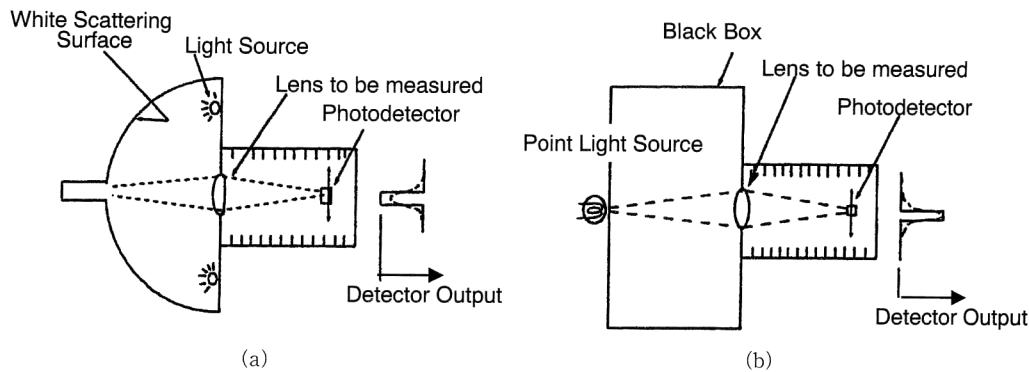


Fig. 1 Schematic of measurement method of veiling glare. (a) Surface light source method, (b) point light source method.

## 2. ベーリンググレア計測装置の方式検討

ベーリンググレア量の測定には、面光源方式と点光源方式の2つがあり、Fig. 1に各方式の比較を示す。面光源方式（暗点方式）は、写真撮影用カメラレンズのベーリンググレアの測定に従来から用いられていた標準的な測定方法であり、Fig. 1(a)に示すように、一様に照明された白色拡散板の中央部分に小面積の暗黒部（視角で $1^\circ$ 程度）をつくり、像面で暗黒部の照度がベーリンググレアにより上昇する様子を周辺の明部の照度との比として示すものである。面光源方式の長所は、(1)測定方法が簡便である、(2)可視光領域に適している、ことである。一方、短所は、(1)グレア値がただひとつの数値であり、ベーリンググレアの諸要因とグレア値の対応が明らかにならない、(2)赤外領域では熱的な暗黒部の実現が困難である、ことである。

赤外線領域では、可視光領域におけるような大きな面光源はつくれないし、たとえ熱パネル等を用いてつくったとしても、暗黒部（ブラックホール）は絶対零度（ $-273^\circ\text{C}$ ）にしなければならず、たちまち霜が付き凍りついてしまうので、このようなターゲットは宇宙空間でなければ実現できない。増谷らは、赤外光学系のグレア量計測に点光源方式をはじめて提案した<sup>1)</sup>。点光源方式の有効性を検証するため、増谷らは、点光源の点像強度分布を測定することによって、従来可視光線領域で実施されていた面状ターゲットを用いる方法と同じ結果が得られることを理論的に説明するとともに、可視光を用いて点光源方式と面光源方式の比較を実験により行っている。被験レンズとしてカメラレンズのグレア量を $F$ 値を変えて測定した結果、点光源方式のグレア量は若干低い値（面光源方式のグレア値の2~3%低い値）として計測されたが、大変よい一致をみたことを報告している。面光源方式では、レンズに入射する白色拡散板からの光にはオフ軸光線が多く含まれており、点光源方式は面光源方式よりも小さいベーリンググレア量

の見積もりを与えると考えられるが、増谷らの結果は点光源方式の有効性を検証したもので、赤外光学系のグレア量測定に道を開いたものである。

Fig. 1(b)に示すように、被測定レンズの口径よりも大きな径の平行光ビーム（光源を測定レンズから十分に離すことにより、選択された平行光）を光学系に入射させ、像面上で光検出器を二次元的に走査させて像面照度を測定し、像中心を除いた周辺の強度の総和と像面強度の総和との比をグレア量とするものである。点光源方式の長所は、(1)像面上のグレア分布を測定するので、グレアの諸要因との対応を調べることができる、(2)赤外領域の測定に適している、ことである。一方、短所は、測定方法が複雑になることである。本研究では、赤外光学系の測定に適し、かつ画面全域にわたりグレア量の分布情報が得られる点光源方式を採用し、計測波長帯を一般的な赤外線カメラの撮像波長帯である $3\sim 5\mu\text{m}$ および $8\sim 12\mu\text{m}$ の2つの波長帯をカバーする赤外のベーリンググレア計測装置を開発した。本研究では、点光源方式の有効性の検証と測定精度に言及するとともに、赤外線レンズの測定例を紹介する。

## 3. 実験装置

設計において最も重要になるのは、グレア量の精度を高めるために測定系のダイナミックレンジをいかに大きくできるかである。ダイナミックレンジを決める要因は、2つある。1つは、光検知器のダイナミックレンジであり、もう1つは信号処理系のダイナミックレンジである。計測波長帯に対応した現状で得られる赤外線センサーのうち、感度にすぐれかつダイナミックレンジが高いセンサーとして、 $3\sim 5\mu\text{m}$ 帯用にInSb検知器、 $8\sim 12\mu\text{m}$ 用にHgCdTe検知器を採用した。ダイナミックレンジは、カタログ値でいずれも $1\times 10^6$ である。また、信号処理系には、微弱信号を検出するためデジタルロックインアンプを採用した。こ

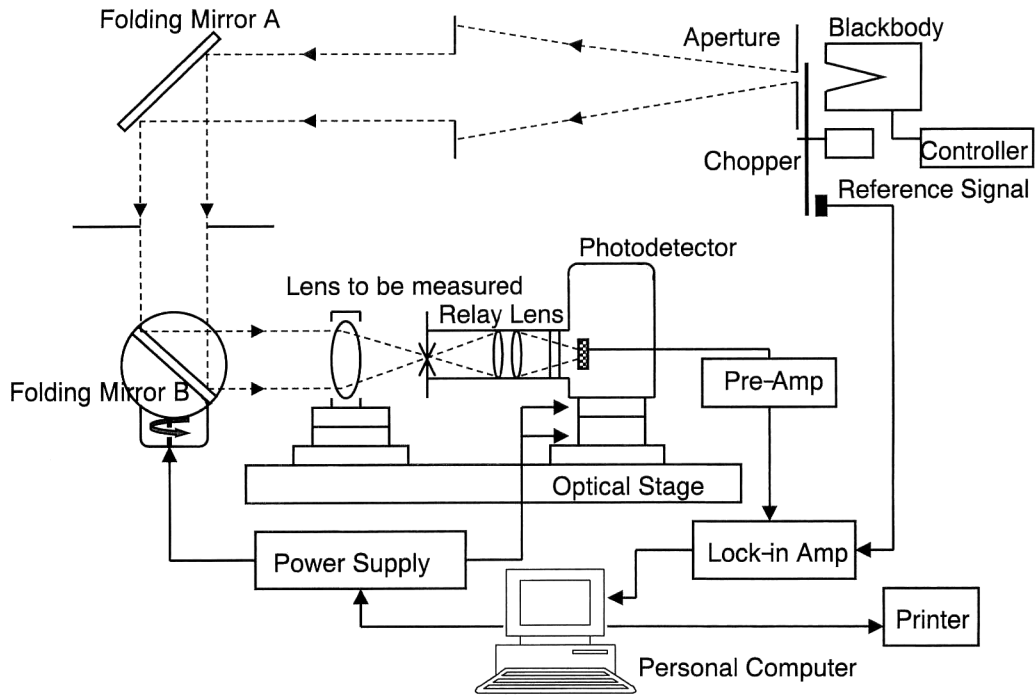


Fig. 2 Schematic diagram of infrared veiling glare measurement system using a point light source.

のアンプのダイナミックレンジは、 $1 \times 10^7$ である。したがって、系のダイナミックレンジは光検知器のダイナミックレンジで制限される。計測は、像面上で光検出器を二次元的に走査させて像面照度を測定するが、グレアの測定では点像を忠実に測定することは必ずしも必要ではなく、ダイナミックレンジの制限の中で周辺の微弱な光強度を高い信号対雑音比で検出するための最適な分割画素数を検討した。その結果、本装置では結像面の視野を  $21 \times 21 = 441$  画素に分割し、1画素相当の面積のピンホールを通過した光量を光検出器で測定することとした。グレアは、結像面の光強度分布として表されるほか、式(1)に示すように、像面強度の総和と像の中心を除いた周辺の総和との比をグレア量として表すことができる。ここでは、光源の像は中心の1画素以内に収まることを条件としている。

$$G = (I_{\text{total}} - I_{\text{center}}) / I_{\text{total}} \quad (1)$$

ここで、 $G$ はグレア量、 $I_{\text{total}}$ は全画素の光量、 $I_{\text{center}}$ は中心画素の光量である。グレア計測精度は、0.1%以下になるように設計した。グレア量が0.1%の場合、被測定レンズに入射した光量の0.1%が中心の点像の外側に分散される。グレアが仮に一様に結像面積に分布したとすれば、 $21 \times 21 - 1$ に分割した1セグメントには、入射光量の44万分の1が入射する。光検出器は、この光量を  $S/N$  比  $> 1$  で検出し、かつ最大の入射光量1で飽和してはならない。すなわち、ダイナミックレンジとして  $1 : 4.4 \times 10^5$  以上が必要である。本装置では、結像エリアの周辺部でグレア強度が低

Table 1 Specification of veiling glare measurement system.

Point light source	
(1) Black body	Temperature: 100-1050°C Chopping frequency: 20-2000 Hz
(2) He-Ne laser	Wavelength: 3.39 μm Power: 8 mW
Relay lens	ZnSe lenses F number: 1.2 or 1.8
Scanning pinhole	Pinhole: 0.6 mm square
Scanning width	12 mm×12 mm (21 step)
Measurement point	21×21=441 points
Photodetector	3-5 μm: InSb photoconductive type (EG & G JUDSON) 8-12 μm: HgCdTe photoconductive type (EG & G JUDSON)
Lock-in amplifier	Digital lock-in amplifier (NF 5610B) Detectivity: 100 nV-1 V
System control and data processing	Personal computer (TOSHIBA J3100 PV2)

下することを考慮して、ダイナミックレンジを  $1 : 4.4 \times 10^5$  以上に設定した。

点光源方式赤外ベリンググレア実験装置のブロック図を Fig. 2 に、個別構成要素の仕様値を Table 1 に示す。光源として使用する黒体炉は、3~5 μm および 8~12 μm の光学系の測定に必要な広帯域の赤外光を発生させる。周囲環境温度 (22°C) において、黒体炉設定温度は 800~1400 °C とした。また、波長 3.39 μm、最大出力 8 mW の He-Ne レーザーを使用して単一波長での測定を行うことができる。黒体炉前面には、光をオン・オフさせるためのチョッ

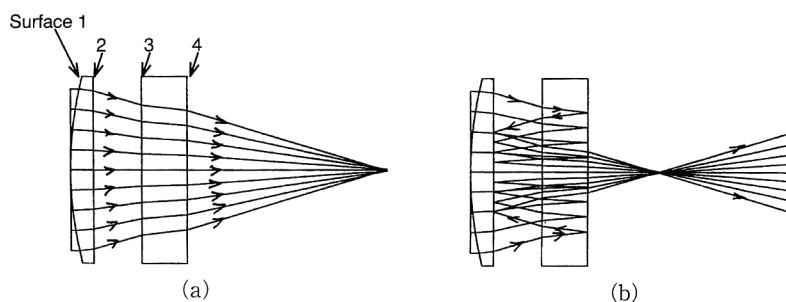


Fig. 3 Ray trace of ghost measurement lens. (a) Normal ray trace, (b) ray trace of example for ghost image based on reflection of lens surface.

パー、アパーチャーが取り付けられている。アパーチャーを通過した赤外光は、円錐状に広がりながら進み、折り返しミラー A、折り返しミラー B で反射した後に約 2 m 先に置いた被測定レンズ前面を照射する。遮蔽板 A は、折り返しミラー A の外側の固定枠に光源からの赤外光が当たるのを防止するためのものである。遮蔽板 B は、この固定枠からの赤外光が被測定レンズの視野内に入らないようにするための視野絞りである。折り返しミラー B は、電動回転テーブル上に取り付けてあり、被測定レンズに入射する光の入射方向を光軸方向から傾けることができる。被測定レンズは、5 軸レンズマウントで固定され、スライドレールに載ったスライドテーブルに固定される。ピンホールは、被測定レンズの結像面に位置し、光検出器は視野全域を上下 (Y)、左右 (X) 方向に走査しながら有限点数 (21×21 点) の光量測定を行う。黒体炉赤外光の出射ビーム直径は、黒体炉のアパーチャーの穴径で決まり、1/40、1/20、1/10、1/4、1/2 インチから選択する。穴径を大きくすると光量が増え測定の S/N 比は大きくなるが、同時に結像スポットも大きくなる。そこで、通常は 1/10 インチ以下を用いた。光検出器として、波長 3~5 μm 用に InSb、8~12 μm 用に HgCdTe 検知器を使用した。いずれも液体窒素温度 (77 K) に冷却して使用した。光検出器の受光面は、3~5 μm 用が 1 mmφ、8~12 μm 用が 1 mm×1 mm の大きさであり、低温デュワーの内部 (入射窓から約 10 mm の位置) にある。そのため、ピンホールを受光面の直前に置いて受光面積を小さくすることができないので、その代わりに被測定レンズの結像面にピンホールを置き、このピンホールを通過した光を検出器受光面まで ZnSe リレーレンズでリレーする方式とした。被測定レンズの焦点距離が 100 mm の場合、結像面でのスポット径は理論上 1/200 インチ (=0.127 mm) と見積もられる。本研究で、被測定レンズとして準備した熱映像赤外レンズの結像面積が約 12 mm であることから、ピンホールとして 0.6 mm の四角穴板を準備した。0.6 mm 間隔で碁盤の目のように X 方向、Y 方向にそれ

ぞれ 21 ステップずつ走査して、12 mm×12 mm の面積をカバーする。走査は、計測コントローラーから電動テーブルに出される指令で行い、1 ステップ間隔やステップ数は変更可能である。また、微弱なグレア光を高い S/N 比で検出するために光源をチョッパーでオン・オフさせ、検出した光信号をロックインアンプで同期検出する。検出した信号は、計測コントローラーにより処理される。21×21 点の計測時間は約 50 分である。

本装置は、3~5 μm 帯および 8~12 μm 帯の赤外光に対して使用する。特に 8~12 μm 帯では、常温で輻射される光が多いため、装置は常に外界の輻射光にさらされている状態である。そのため本装置では、外界と遮断するため暗箱を用いるとともに、前述のように迷光を防止する遮蔽板等を装置内に用いている。暗箱内部からの赤外線放射については、アパーチャーが加熱されその壁が新たな光源になる問題があるが、本装置ではチョッパーを黒体炉とアパーチャーの間に配置することによって、アパーチャー壁からの信号は直流信号であり、アパーチャー孔からの信号は交流信号とすることができ、分離できる。

#### 4. 実験結果および考察

##### 4.1 単純な光学系によるグレアの計算値と測定値の比較

赤外線領域では、レンズに傷や汚れがない場合、グレアの最大要因はレンズの反射防止が完全でないために生じるゴーストと考えられる。本研究では、無反射コーティング

Table 2 Specification of middle-infrared imaging lenses measured.

	Ghost measurement lens	Infrared imaging lens
Wavelength	3-5 μm	3-5 μm
Effective aperture	20 mm	50 mm
F number	1.9	1.2
Field of view	—	244×192 mrad
Focal length	38 mm	60 mm
Construction	Uncoated ZnSe lens+ ZnSe parallel plate	Ge×3

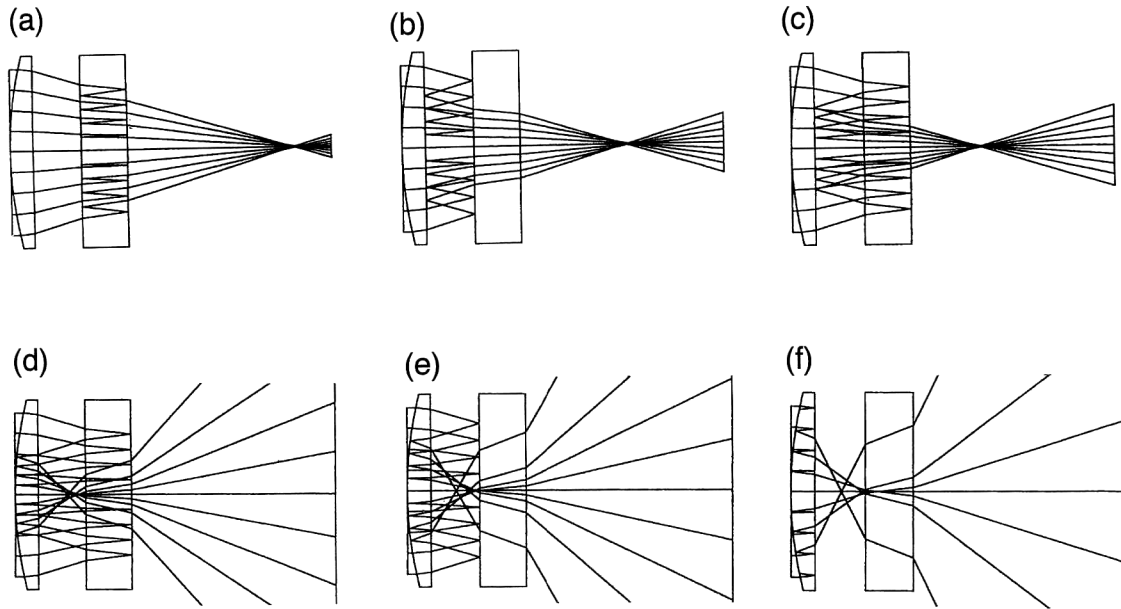


Fig. 4 Ray trace of ghost image based on two times reflection of lens surface.

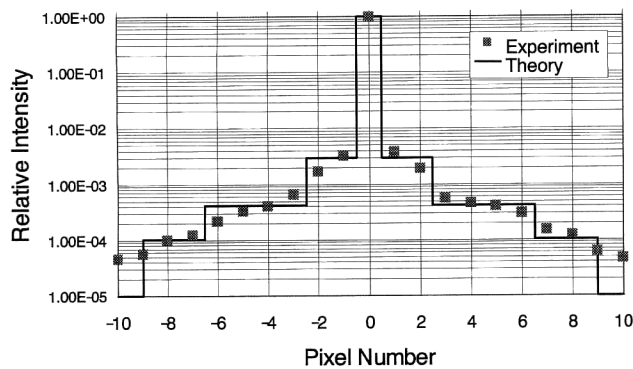


Fig. 5 Relative light intensity as a function of pixel number for ghost measurement lens.

を施さない ZnSe 平凸レンズと ZnSe 平行平板を組み合わせた単純な 2 枚構成レンズを用いて、2 回反射ゴーストに基づくグレア強度分布の計算値と測定値を比較することにより、本測定装置の有効性を検証した。Fig. 3 に、光線追跡によるゴースト計測用レンズの光路とゴースト像光路の一例を示す。Table 2 に、ゴースト計測用レンズの仕様値を示す。レンズの材料は ZnSe (屈折率: 2.433144)、材料内部での吸収損はないものとし、1 面あたりの反射率を 17.4259%、透過率を 82.5741% として計算した。Fig. 3(a) は点に結像する通常の光路、Fig. 3(b) は第 4 面で反射し次に第 2 面で反射した光が結像面で円形のゴーストとなる様子を示す。2 枚構成レンズの場合、2 回反射ゴーストは Fig. 4(a)~(f) に示す 6 通りあり、それぞれについてゴースト円の面積と透過反射の回数による減衰を計算してゴースト強度成分を求め、最後に 6 通りの強度を計算して像面の強

Table 3 Veiling glare value of middle-infrared imaging lenses.

	Point light source	Veiling glare
Ghost measurement lens	He-Ne laser	8.52%
	Black body	10.06%
Middle-infrared imaging lens	He-Ne laser	0.34% ( $F 1.2$ )
	Black body	0.62% ( $F 1.2$ )
	He-Ne laser	0.76% ( $F 2.0$ )
	Black body	1.21% ( $F 2.0$ )

度分布を得た。計算には、光線追跡ソフト ZEMAX (Focus Software, Inc.) の迷光成分解析用ソフトを使用した。Fig. 5 に、計算値と計測値の結果を示す。ここで、計測は黒体炉および He-Ne レーザーを光源として ZnSe 2 枚構成レンズについて、入射角  $0^\circ$ 、ピンホール 0.6 mm 角、走査幅 12 mm で測定した。グレア量の計算値と計測値は 1 桁以内で合致しており、ゴースト成分が十分大きい光学系において、本計測装置の有効性が検証できた。また、このレンズでは、グレアの主成分はレンズ表面での 2 回反射に基づくゴーストが支配的であるとみなしてよいと考える。Table 3 に、ゴースト計測用レンズのグレアの計測値を示す。He-Ne レーザーを光源とした場合のグレア値は 8.52% であった。また、黒体炉を光源とした場合のグレア値は 10.06% であった。グレア値は、He-Ne レーザーを光源とした場合のほうが小さい。この理由としては、レンズ表面のレーザー光は単色でレンズの色収差の影響がないこと、ビーム径が絞られるためより小さな面積に結像できることが考えられる。

## 4.2 中赤外線撮像レンズのグレアの計算値と測定値の比較

次に、市販されている中赤外線撮像レンズのグレア量を計測するとともに、理想的なレンズの点像強度分布を計算により求め、計測値と計算値の比較により、本計測装置で得られるグレアの最小分解能について評価した。Table 2 に、中赤外線撮像レンズの仕様値を示す。点光源として、He-Ne レーザーおよび黒体炉を光源としてグレア量の計測を行った。Table 3 に、入射角  $0^\circ$  における中赤外線撮像レンズのグレアの計測値を示す。He-Ne レーザーを光源とした場合のグレア値は、 $F 1.2$  の絞り開放で  $0.34\%$ 、 $F 2.0$  の絞りで  $0.76\%$  であった。また、黒体炉を光源とした場合のグレア値は、 $F 1.2$  の絞り開放で  $0.62\%$ 、 $F 2.0$  の絞りで  $1.21\%$  であった。絞りを絞った場合にグレア量が増加しているのは、絞りによる入射光線の多重反射の影響が大きいと考えられるが、そのほかに後述のように点像強度の広がりによる影響も考慮されなくてはならない。光源の違いによるグレア量の相違は、前述のように、色収差による点像広がりによる影響がグレア量に現れていると考えられる。

Fig. 6 に、この計測で得られた点像強度分布と理想的なレンズの点像強度分布（計算値）を示す。計算値は、以下の方法により求めた。無限遠方にある点光源からの光がレンズの焦点面につくる像の強度分布は、点像強度分布とよばれる。直径  $D$ 、焦点距離  $f$ 、無収差、透過率  $100\%$  の理想的なレンズの波長  $\lambda$ 、入射パワー  $P$  の単色光に対しては、点像強度分布  $I(r)$  は軸対称であり、焦点面中心から半径方向の距離を  $r$  とすると  $I(r)$  は次式で表すことができる。

$$I(r) = \frac{PC^2}{4\pi} \left\{ \frac{2J_1(C \cdot r)}{C \cdot r} \right\}^2 \quad (2)$$

ここで、 $C = D/f\lambda$ 、 $J_1(C \cdot r)$  は、1 次のベッセル関数である。

中心から半径  $r$  の円内に含まれる相対エネルギーは、エンサークルドエネルギー  $E$  とよばれ、式(3)で計算することができる。

$$E = 2\pi \int_0^r r I(r) dr \quad (3)$$

1 辺の長さ  $2a$  の正方形の面積に含まれる相対エネルギーは式(4)で計算できる。

$$E = 4 \int_0^a \int_0^a I(\sqrt{x^2 + y^2}) dx dy \quad (4)$$

Fig. 6 に示すように、He-Ne レーザーを光源とした場合の点像強度分布の実測値はほぼ理論曲線に一致しており、本実験に採用した中赤外線撮像レンズのレンズ表面での反射や散乱に基づく迷光成分は小さいといえる。ただし、左

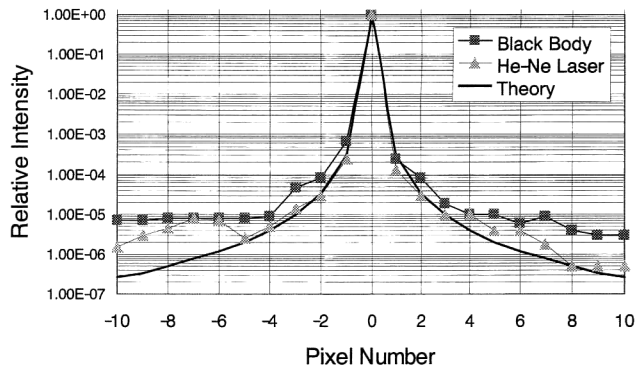


Fig. 6 Relative light intensity as a function of pixel number for middle-infrared imaging lens.

視野端において理論曲線から乖離していることがわかる。これは、レンズ特有の迷光強度分布であると考えられる。この図からわかるように、グレア量には回折限界による点像の広がり成分が含まれている。この理想的な点像広がりによる成分をグレア量に換算すると  $0.16\%$  であり、グレアの測定精度として  $0.16\%$  がほぼ確保されていると考えられる。本研究では、入射角  $0^\circ$  以外の斜め入射についても中赤外線撮像レンズのグレア値の測定を行った。その結果、入射角  $5.5^\circ$  (視野端) におけるグレア値は、He-Ne レーザーを光源とした場合、 $F 1.2$  の絞り開放で  $0.35\%$ 、 $F 2.0$  の絞りで  $0.79\%$  であり、入射角  $0^\circ$  とほぼ同じ値であった。また、多重反射成分による点像分布パターンもほぼ点対称であり、通常の視野の外側にグレアが上昇する様子も認められなかった。

上述のように、 $3 \sim 5 \mu\text{m}$  の中赤外線域において、点光源方式の有効性を検証してきた。近年、色収差除去を目的として回折光学素子を赤外線レンズに採用した製品が市販されているが、回折面での散乱のベリンググレアに及ぼす影響については明らかになっていない。次に、本測定装置を用いて、回折光学素子のベリンググレアを定量的に測定した結果について述べる。被検レンズとして、非球面の Ge 単レンズ (無反射コーティング付)、Ge 単レンズの片面に輪帯数 3 の回折構造を施した回折光学素子 (無反射コーティング付) を計測した結果を以下に述べる。なお、両方のレンズとも口径、焦点距離などは等しい。測定波長帯は、 $8 \sim 12 \mu\text{m}$  の遠赤外線域である。被測定レンズの仕様値および測定したベリンググレア値を Table 4 に示す。また、Fig. 7 および Fig. 8 に、点像広がり空間分布を鳥瞰図および等高線図として示した。Table 4 からわかるように、回折光学素子のグレアは  $1.32\%$  であり、非球面レンズのグレア値  $0.75\%$  の約 2 倍に増加するという興味ある結果が得られた。近年、レンズ枚数を削減するため、赤外光学

Table 4 Specification of long-infrared imaging lenses measured.

	Diffractive lens	Aspherical lens
Wavelength	8-12 $\mu\text{m}$	8-12 $\mu\text{m}$
Effective aperture	100 mm	100 mm
$F$ number	1.51	1.51
Focal length	151 mm	151 mm
MTF	0.562 @ 20 lp/mm	0.471 @ 20 lp/mm
Material	Ge	Ge
Veiling glare	1.32%	0.75%

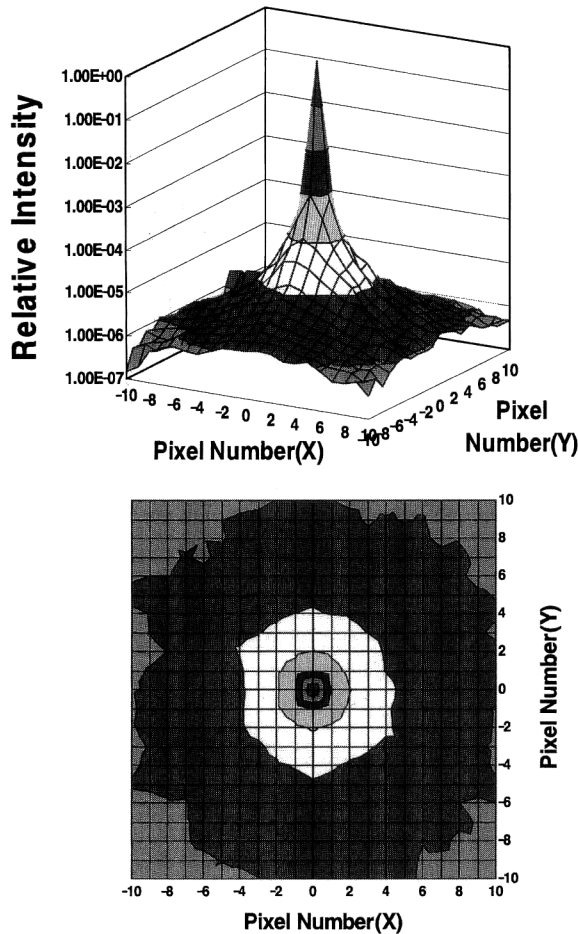


Fig. 7 Relative light intensity as a function of pixel number for long-infrared, aspherical Ge lens.

系に回折光学素子を使用したものが多数市販されているが、グレア量を低減するために輪帯数の制限や回折面の設定に工夫が必要であることを示唆している。

本実験装置を用いて計測した各種赤外線レンズのベ어링グレアについてまとめると、以下ようになる。(1) 赤外線レンズは、レンズ枚数が可視域レンズに比べて少なく、レンズ枚数がゴースト光発生に与える影響は小さい。ただし、ズームレンズやアフォーカル系を有するような光学系については、レンズ枚数が増えるためベ어링グレアを考慮した設計が必要である。(2) 無反射コーティングの有

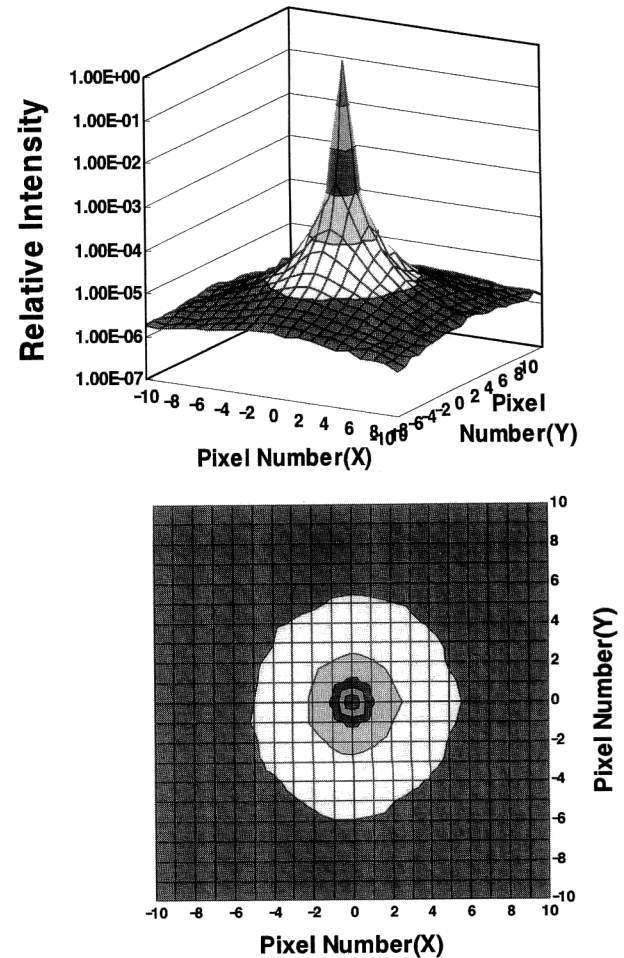


Fig. 8 Relative light intensity as a function of pixel number for long-infrared, diffractive Ge lens.

無がゴースト光発生に与える影響は、非常に大きい。特にコーティングのない平行平板に近いレンズは、多重反射によるゴースト光発生が大きく、設計上十分な配慮が必要である。当然のことながら、イメージセンサー表面での表面反射がゴースト発生に与える影響は無視できないと思われる。無反射コーティング等の対策が必要である。(3) 回折光学素子を赤外線レンズに採用し、レンズ枚数を削減した製品が市販されているが、回折面での散乱によるゴースト光発生が無視できないという知見が得られた。

## 5. 結 論

熱映像撮像光学系のベ어링グレア量を定量的に計測できる装置を開発し、その有効性を検証した。本研究では、赤外光学系の測定に有利な点光源方式を採用するとともに、計測波長帯として、一般的な赤外線カメラの撮像波長帯である 3~5  $\mu\text{m}$  および 8~12  $\mu\text{m}$  の 2 つの波長帯をカバーする赤外のベ어링グレア計測装置をはじめて開発した。

本研究では、まず無反射コーティングを施さない ZnSe 平凸レンズと ZnSe 平行平板を組み合わせた単純な 2 枚構成レンズを用いて、2 回反射ゴーストに基づくグレア強度分布の計算値と測定値を比較することにより、本測定装置の有効性を検証した。グレア量の計算値と計測値は 1 桁以内で合致しており、ゴースト成分が十分大きい光学系において、本計測装置の有効性が検証できた。次に、He-Ne レーザー（波長：3.39  $\mu\text{m}$ ）を光源として、市販されている中赤外線撮像レンズのグレア量を計測するとともに、理想的なレンズの点像強度分布を計算により求め、計測値と計算値の比較により、本計測装置で得られるグレアの測定精度を評価した。その結果、測定精度として 0.16% がほぼ確保されていることがわかった。また、本測定装置を用いて、最適化されていない高次の回折光が迷光として像面に広が

ることが知られている回折光学素子のベ어링グレアを定量的に計測した。

本計測技術は、太陽光等の非常に強い光が視野内に入った場合に発生する赤外線ゴースト像を低減させるための設計手法の確立や、ベ어링グレアの増加が避けられない回折光学素子等の研究に幅広く活用されるものと考えられる。

最後に、本研究は、富士通統合システム研究所顧問の増谷光正博士（元第 2 研究所長）の発案によりスタートしたものである。衷心より深謝します。

## 文 献

- 1) 増谷光正, 蘇原祥夫: “光学系フレアの測定法”, 電気学会赤外線研究会資料, LAV-85-3 (1985) pp. 19~26.