

水滴に起因したグレアの除去法

Removal of Glare Caused by Water Droplets

原 豪 紀^{†, ††}, 正会員 斎藤 英雄^{††}, 正会員 金出 武雄^{†††}

Takenori Hara^{†, ††}, Hideo Saito^{††} and Takeo Kanade^{†††}

Abstract View disturbing noise must be removed from images obtained with a camera under adverse weather conditions. In this paper, we present a method for removing glare caused by water droplets, or other foreign objects, adhering to protective glass of an imaging lens. We have designed and implemented an electronically controlled optical shutter array that detects and removes glare. We also present the possibility of applying this technique to remove general glare caused by the imaging lens itself.

キーワード：コンピュテーションフォトグラフィ、コーデッドイメージング、グレア、画像処理、光シャッタ

1. まえがき

監視カメラやテレビ放送のようなカメラを使う分野において、画質を損なうノイズを除去することは重要である。グレアとは、太陽光やスタジアムのライトのような輝度の高い光源が周囲を見えにくくする現象であり、画質を著しく損なう(図2参照)。一般的なグレアはカメラのボディとレンズ内部における光の拡散反射現象の結果として生じる。また、レンズや保護ガラスに付着した水滴のような障害物もグレアを発生する原因となる(図2(b)参照)。この場合、光の拡散反射はカメラボディとレンズ内部に加え水滴内部でも発生している。

このようなカメラに付着した水滴により生じるグレアを未然に防止するために、多くの屋外用途の監視カメラでは、さまざまな工夫が施されている。例えば、レンズフードにカメラを収めることがしばしば行われている。しかしながら、輝度の高い光源がカメラの視野角中にある場合には、レンズフードのガラス面に付着した水滴が結果として強いグレアを引き起こしてしまい効果がない。一方、レンズに工夫を施したものとして、低反射コーティングレンズの利用が

挙げられるが、これは高価である上グレアを完全に除去することはできない。コンピュータ処理によるグレア除去も各種提案されているが、その手法自体が新たなノイズを発生させたり、カメラ本体の改造が必要であるといった欠点があり、グレアを完全に除去することは未だ達成されていない。結局のところ、レンズや保護ガラスに付着した水滴のような障害物が原因で発生したグレアの除去には、原因となる水滴を物理的に除去することが有効であり、撥水剤をレンズ表面に塗布したり、ワイパーを使用している。これらの手法は簡単な割に効果が高いが、完全に水滴を除去するものではない。

そこで本論文では、レンズを透過する光を制御するための光シャッタをレンズ前面に設置し、この光シャッタにより水滴の付着したレンズ領域を通った光を選択的に除去することにより、グレアを除去した画像を生成する手法を提案する。本手法では、光シャッタによりレンズの一部のみを透過した光が結像した画像を、その透過する部位を連続的に変化ながら複数枚取得する。これらの画像列から水滴の付着したレンズ領域で得られた画像を自動的に判定し、それ以外の画像を再合成することにより、水滴によって引き起こされるグレアを除去した画像を合成するものである。図1に本手法によるグレア除去画像の一例を示す。水滴が原因で発生しているグレアが除去できていることがわかる。

以降、本論文では、まず2章で本研究に関連した従来研究について解説し、提案手法の位置づけを明確にする。つぎに3章で、本手法の基本原理について説明し、4章では基本原理に基づいて実際にグレア除去を可能とするカメラシステムのシステムデザインとグレア除去アルゴリズムについて説明する。5章ではこのカメラシステム用いて得られたグレア除去結果を示すことにより提案手法の有効性を

2009年8月14日受付, 2009年10月19日再受付, 2009年11月11日採録
†大日本印刷株式会社

(〒141-8001 品川区西五反田3-5-20, TEL 03-6431-3164)

††慶應義塾大学 理工学部 情報工学科

(〒223-8522 横浜市港北区日吉3-14-1, TEL 045-563-1141(内線43230))

†††カーネギーメロン大学 ロボティクス研究所

(5000 Forbes Ave, Pittsburgh, PA, 15213, USA)

†Dai Nippon Printing Co., Ltd.

(3-5-20, Nishigotanda, Shinagawa-ku, Tokyo 141-8001, Japan)

††Keio University

(3-14-1, Hiyoshi, Kouhoku-ku, Yokohama 223-8522, Japan)

†††Carnegie Mellon University, Robotics Institute

(5000 Forbes Ave, Pittsburgh, PA, 15213, USA)



図 1 実験結果 左が除去前、右が除去後。水滴が原因で発生しているグレアが除去できている
Our technique detects and removes glare caused by water.

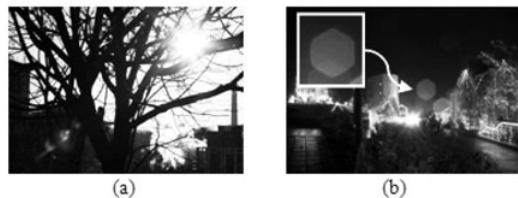


図 2 グレアの例
The visual appearances of glare.



図 3 画像加工ソフトウェアによるグレア除去の例
Removal of glare using image editing software.

示す。そして、6章では本手法の制約や可能性について議論し、最後に7章で全体をまとめる。

2. 関連研究

本論文の目的である水滴に起因するグレアの除去に関連した研究として、従来より、雨、雪、霧といった悪天候による画質の劣化を除去する方法が提案されている。例えば、Nayar と Narashimhan は悪天候をモデル化¹⁾し、Garg と Nayar は雨滴の測光的なモデルを提唱し²⁾、このモデルを用いて動画から雨の除去を行った³⁾。これらは、あくまでも悪天候下で撮影された画像の画質改善が目的であり、カメラに付着した水滴によるグレアの除去には効果が期待できない。

一方、カメラの性能向上を図ることで、グレアそのものを減らす方法も検討されている。その方法の一つとして、低反射コーティングレンズの利用が効果的とされており、レンズ内部での拡散反射を低減しグレアを軽減する。Boynton と Kelley は、レンズとカメラ内部での拡散反射を低減するため、液体を充填したカメラを開発した⁴⁾。デジタル画像処理によるグレア除去も各種提案されている。デコンボリューションを用いたグレア除去は Faulkner らによって医学分野に⁵⁾、Starck らによって天文学分野に適用されている⁶⁾。ハイダイナミックレンジイメージ(HDRI)分野においては Reinhard らによってグレア除去が議論されている⁷⁾。

近年、カメラのハードウェアに付加機能を加えるなどして、撮影方法に工夫を加えて撮影した複数の画像から画像生成を行うことにより、従来のカメラにはない新機能を実現しようとする研究が盛んになってきた。このような画像生成法はコンピュテーションアルフォトグラフィと呼ばれ、画像処理、コンピュータビジョンと写真撮影術が融合した新しい分野である。Nayar らは、デジタルマイクロミラーデ

バイス(DMD)をカメラの光学系に追加し、これをプログラム制御することにより、HDRI、特徴点抽出、物体認識といった多様な画像処理機能を実現した新しいイメージングシステムの概念を構築した⁸⁾⁹⁾。Zomet と Nayar は、レンズの代わりにコントロール可能な絞りを用いたレンズレスカメラを開発し¹⁰⁾、Nayar と Branzoi は LCD パネルをカメラの前に設置することで、カメラのダイナミックレンジを拡張できることを示した¹¹⁾。Ashok らは符号化絞りを使用したカメラを開発し、撮影した画像のリフォーカスを行っている¹²⁾。Talvala らはグレアの除去にコンピュテーションアルフォトグラフィ手法を用いた¹³⁾。彼らはレンズとカメラボディの内部構造に基づき設計したマスクパターンをレンズ前面に設置し、レンズ外部からの直接入射と間接入射を選別することでグレアを除去した。しかしながら、彼らの手法は固定したマスクパターンを利用するため、状況によって場所の変化する水滴により発生するグレア除去には適用できない。Raskar らは一般的なグレアを減少/強調する手法を開発した¹⁴⁾。彼らはイメージセンサの前に符号化したマスクを設置し、カメラ内部での光の伝播についてレイトレーシングを行うことで、グレアを減少/強調している。この手法は、1枚の画像があれば充分である非常に実用的な手法であるが、カメラ本体内部の大幅な改造が必要であり、また、レイトレーシングに多大な処理能力を必要とする。

上記の研究に対して、画像加工ソフトウェアを用い、手動で水滴に起因するグレアを除去する方法も考えられる。実際に画像加工ソフトウェアを用いてグレア領域を手動で指定、輝度とコントラストを調整することで水滴の除去を試みた結果を図 3 に示す。図 3(a) に示すグレアを、図 3(b) ではある程度軽減できているが、完全に除去するには多大な労力が必要となる。

また、カメラ内部構造・レンズ・水滴の正確な形状をコ

ンピュータ内に再構築し、イメージセンサに入射した光の軌跡を遡ってレイトレーシングすることで入射光を再構築し、ここからグレアを引き起こす光成分を除去することも理論上可能ではある。しかし、実際には水滴の正確な形状を得ることが困難であり、また、カメラ内部構造・レンズについても製品ごとの微小なバラつきがあるため、グレアが除去できるほど正確なレイトレーシングを行うことは事実上不可能である。

なお、レンズ前方に設置された保護ガラスに付着した水滴による画像の乱れを除去する研究が Tanaka ら¹⁵⁾によって提案されているが、この研究では、保護ガラスと一体で回転する首振りカメラから得られた時空間断面画像上の軌跡の違いから水滴領域を検出し、その領域に対して画像修復手法を利用するものであり、レンズと保護ガラスにある程度の距離が必要である。つまり、本論文で対象としているような、レンズの直前に付着した水滴により広範囲に発生するグレアの除去には有効な手法ではなく、また、カメラを回転させることで水滴と光源の相対位置が変化し、グレアの発生具合が変化するため、水滴領域の特定も困難である。

上記の関連研究に対して、本論文で提案する我々の手法では、水滴により生じるグレアを除去するために、パターンの制御が可能な光シャッタをレンズ前面に設置し、光シャッタ開閉パターンを変化させながら撮影した複数の画像から、水滴を通らないで撮影された画素を自動的に選択することで、水滴によるグレアの影響を除去した画像を生成するという、新しい方法となっている。従来手法と異なり光シャッタをレンズ前面に設置すればよいため、市販のデジタルカメラに広く適用でき、また、多くの処理能力も必要としないシンプルかつ低価格で実践的な手法である。

3. 水滴によるグレア発生のしくみ

カメラでは、物体から放射される光線群がレンズに入射し、イメージセンサの特定の位置に集まる（結像）ことにより画像が生成される（図4(a)参照）。つまり、撮影対象の点Aから入射してくる光はレンズで屈折し、イメージセンサ上の点Bに集まることにより、A点の色がイメージセンサのB点の画素値として観測されるのである。レンズ上に水滴がある場合、太陽光のような輝度の高い光源からの光が水滴内、レンズ内、カメラボディ内で乱反射してイメージセンサに入射し、グレアとなる（図4(b)参照）。同様に、撮影対象上の点Aから入射してくる光も水滴により屈折・拡散するため、ブラーーや歪みを発生する原因となる（図4(c)）が、レンズに付着した水滴により屈折・拡散した光がイメージセンサに入射する量は極少量であるため、水滴によるブラーーや歪みはほとんど知覚できないレベルである。しかしながら、高輝度な光源がある場合、グレアは発生し、画像の品質を損なう（図5(a)(b)参照）。他方、レンズに不透明な物体が付着した場合でも、不透明物体が付着していない

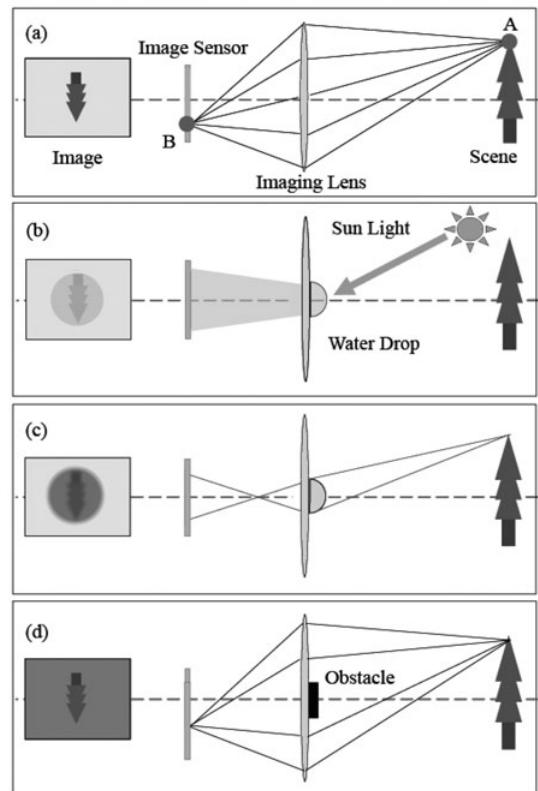


図4 カメラ光学系の概念図
Conceptual schematic (not drawn to scale) of our image formation model.



図5 水滴によるグレアの例
The visual appearances of glare.

レンズの部位が光をイメージセンサに伝播させるため、イメージは多少暗くなるものの、撮影は可能である（図4(d)参照）。つまり、水滴の付着したレンズ領域を通った光を選択的に除去することでグレアを除去した画像を生成することが可能である。そこで、本論文で提案する手法では、水滴の付着したレンズ領域を特定し、特定したレンズ領域の光をブロックする機能をカメラに追加することにより、水滴によるグレアを除去するわけである。次の章に、その方法について説明する。

4. 水滴位置特定とグレア除去

提案手法では、水滴の付着したレンズ領域を特定し、特定したレンズ領域の光をブロックする機能をカメラに追加する手段として光シャッタアレイを用い、図6に示すようにレンズ前面に設置する。この光シャッタは、 $N \times N$ 個の2次元アレイになっており、それぞれの光シャッタの開閉の制御をコンピュータから自由に行うことができる。

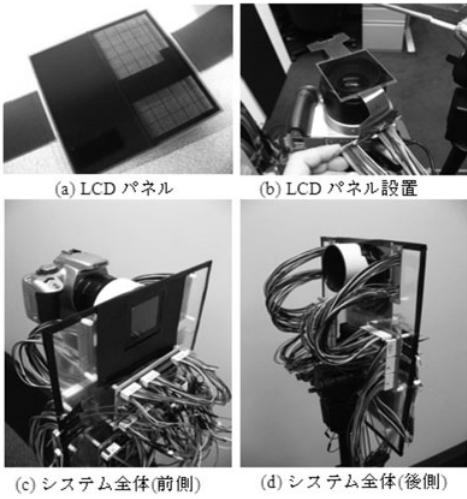


図 6 システム全体図
System Overview.

4.1 システムデザイン

本論文で構築したプロトタイプシステム(図6)では、光シャッタとしてノーマリーホワイトLCDパネルを使用した。ノーマリーホワイトとは、電圧を印加していない間は透明となるLCDパネルである。LCDパネルのサイズは一般的に市販されているデジタル一眼レフ用レンズを想定して $60\text{mm} \times 60\text{mm}$ 、光シャッタ1個のサイズは水滴の大きさを考慮し $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ とし、 $N = 10$ のアレイを開発した。我々のシステムは光シャッタアレイ、光シャッタアレイを駆動する駆動装置、デジタルカメラとPCで構成される。光シャッタ駆動装置は、全体を制御するPCソフトウェアからの指令を受け、それぞれの光シャッタの開閉を制御する。カメラは、10.1メガピクセルのCanon社製EOS Digital Rebel XTiデジタル一眼レフカメラボディにCanon社製EF 50mm f=1.8レンズを組合せて使用した。我々の光シャッタを使うシステムには、キャリブレーションを必要としないという利点がある。単に光シャッタをレンズの前に設置するだけで、自動的に水滴位置を特定し、水滴由来のグレアを除去することができる。以下に光シャッタを用いた水滴位置特定方法とグレア除去について述べる。

4.2 水滴位置特定

レンズ直前に設置した光シャッタを順番につづつ開閉しながら撮影を行うことで光シャッタ $N \times N$ 枚分の画像を取得する。図7に示すように、水滴が付着した部位の光シャッタを開けて撮影した画像は水滴により引き起こされたグレアの影響を受けて輝度が高くなる。反対に水滴の付着していない部位の光シャッタを開けて撮影した画像は相対的に輝度が低くなるため、それぞれの画像を比較することで水滴の付着位置を特定できる。具体的には、グレアを含む輝度の高い画像を特定するため、画像をグレースケールに変換した後、各画像ごとに輝度値の標準偏差 s ならびに輝度平均値 m を求める。

標準偏差 s ならびに輝度平均値 m が大きい場合、その画像はグレアの影響を受けた明るい領域を持つことを意味し、小さい場合は明るい領域を持たないことを意味する。得られた $N \times N$ 枚の画像から標準偏差 s と輝度平均値 m をそれぞれ求めた後、グレアを含む輝度の高い画像を特定するために標準偏差 s と輝度平均値 m の閾値 s_t と m_t を計算する。閾値決定には大津の方法¹⁶⁾を用いた。大津の方法は、ある値の集合を二クラスに分類する場合の適切な閾値を自動的に決定する手法で、二つのクラス内の分散とクラス間の分散を考え、クラス内分散はできるだけ小さく、クラス間分散はできるだけ大きくなるような閾値を求めるものである。大津の方法で求めた閾値 s_t と m_t より標準偏差 s ならびに輝度平均値 m が大きい場合、その画像は水滴により発生したグレアの影響を受けている。これにより水滴の付着位置を特定可能である。また、標準偏差 s ならびに輝度平均値 m が大きいほど、その光シャッタ領域は水滴による影響が大きいといえる。

図8に水滴付着位置の特定実験結果を示す。この実験で図8(a)に示すように、光シャッタ番号45番と55番の間に水滴を置いた。100個の光シャッタを順番に開閉して撮影した結果が図8(b)である。図8(c)(d)(e)はそれぞれ光シャッタ番号45番、55番、56番を開いて撮影した画像である。光シャッタの前に水滴がある45番と55番の画像はグレアの影響で輝度が高く、水滴がない56番はグレアの影響を少ししか受けないため、比較的輝度が低いことがわかる。図8(f)と(g)は各光シャッタより得られた画像の輝度の標準偏差 s と平均値 m を各光シャッタの位置にプロットしたもので、値が大きくなるにつれ青→赤→黄と変化する。また、大津の方法で算出した閾値 s_t と m_t も合せて表示している。この図より水滴付着位置を正しく特定できていることがわかるとともに、水滴がレンズに与える影響の範囲も読取ることができる。

4.3 グレア除去

特定された水滴付着位置の光シャッタを閉じることにより、障害物で拡散された光はイメージセンサに到達しない。つまり、水滴が付着している光シャッタを閉じ、水滴の付着していない光シャッタのみを開いて撮影することで、グレアのないクリアなイメージを得ることができる(図9参照)。また、水滴位置特定用に撮影した100枚の画像のうち、水滴の影響を受けていない画像を単純に加算することでグレアのないクリアなイメージを得ることも原理的には可能であるが、実際にはデジタルカメラ特有の固定パターンノイズやランダムノイズといったノイズが加算・蓄積されてしまうため、良い結果を得ることができなかった。

5. 実験結果

本手法により水滴により発生するグレアを除去できる。図10(a)に実験装置の標準的な構成を示す。本来は雨天中で実験すべきであるが、本実験装置が防水仕様となってい

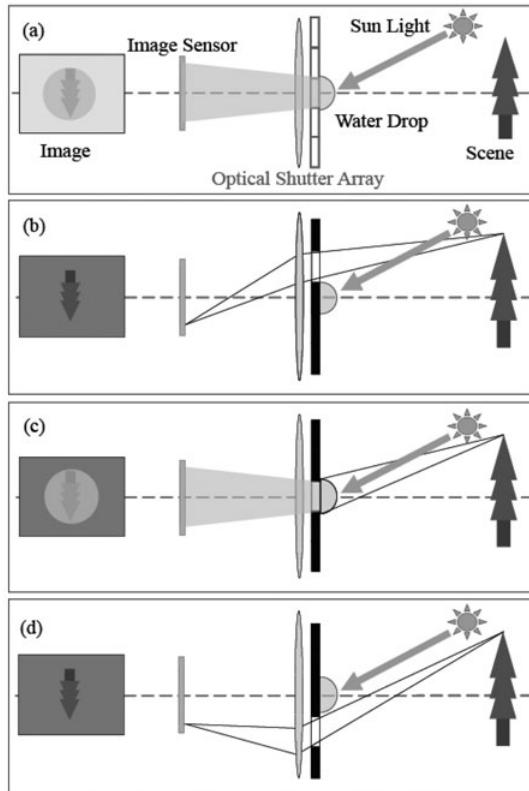


図 7 水滴付着位置検出
Process for detecting glare.

ないため、レンズの前に設置した光シャッタアレイにガラス棒で水滴を付着させながら実験を行った。

図 11 に光シャッタアレイに 1 個の水滴を付着させ、晴天下において実験を行った結果を示す。この場合、グレアは太陽光が水滴に入射することで発生している。図 11(a) は水滴除去前の画像であり、水滴由来のグレアが発生していることが確認できる。図 11(b) は本論文にて提案している手法を用いて水滴由来のグレアを除去した結果であり、図 11(c) は水滴がない状態、つまり、水滴由来のグレアが発生しない状態で撮影したものである。これらを比較すると水滴由来グレアが提案手法により除去されていることがわかる。図 11(d) は各光シャッタより得られた画像の輝度の標準偏差 s を各光シャッタの位置にプロットしたものであり、光シャッタアレイに付着した水滴の位置とレンズに与える影響の大きさを表している。

図 12 に環境を変えて実験した結果を示す。左端の列は水滴除去前の画像、左から 2 番目の列は本論文にて提案している手法を用いて水滴由来のグレアを除去した結果、3 番目の列は水滴がない状態、右端の列は各光シャッタより得られた画像の輝度の標準偏差 s を各光シャッタの位置にプロットしたものである。

図 12(a)(b) は室内での実験結果である。図 12(a) では 1 個の水滴を光シャッタアレイに付着させ(図 10(b) 参照)、天井に設置された蛍光灯の光が水滴に入射することでグレアが発生している。図 12(b) では 14 個の水滴を光シャッタ

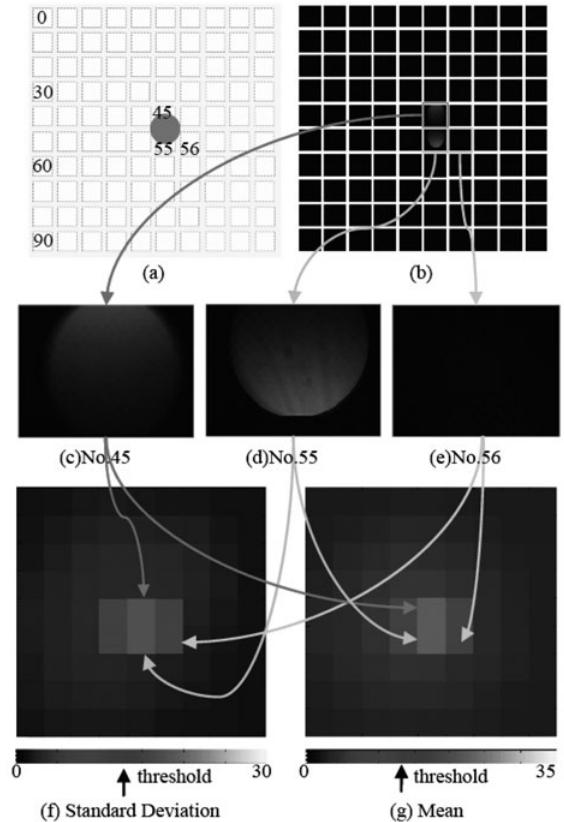


図 8 水滴付着位置特定実験結果
Experimental result of detecting glare.

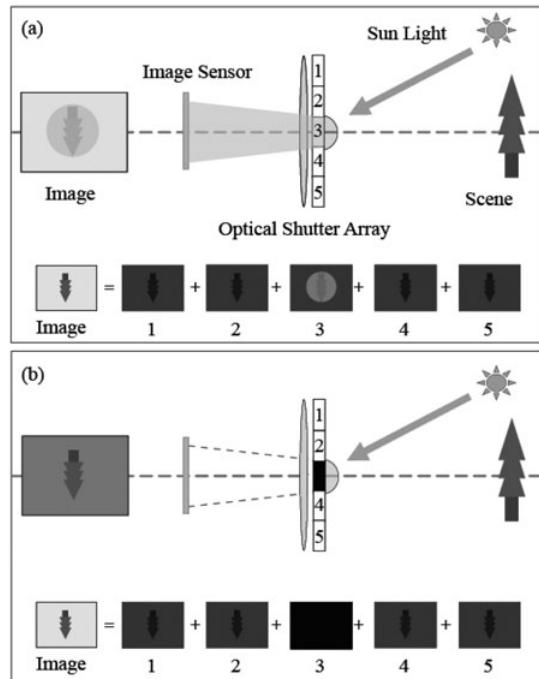


図 9 グレア除去手順
Process of removing glare.

アレイに付着させ(図 10(d) 参照)、蛍光灯に加えて高輝度 LED ライトをカメラの画角の外から水滴に対して照射することでグレアが強く現れるように調整したが、グレアは問題なく除去できている。

図 12(c)(d) は夜間屋外での実験結果である。夜間の工事

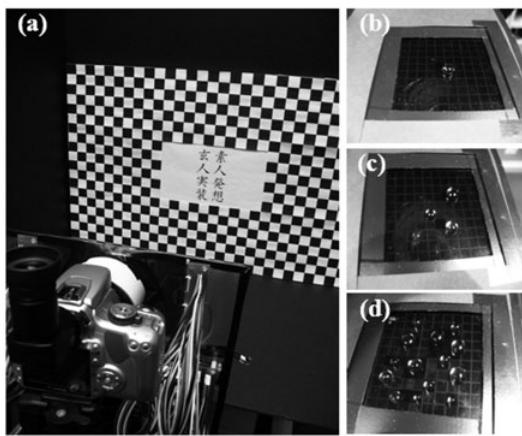


図 10 標準的な実験装置のセットアップ
A typical arrangement of the scene.

表 1 カメラセッティングと処理時間
Camera setting and Processing time.

	Processing time (sec)	Exposure time (sec)	F Value	ISO
a	108.3	1/25	1.8	400
b	108.5	1/25	1.8	400
c	105.1	1/800	2.5	100
d	108.3	1/25	1.8	400
e	108.2	1/25	1.8	400

現場を撮影したものであり、図 12(c) では 3 個の水滴を、図 12(d) では 1 個の水滴を光シャッタアレイに付着させたが、設置された高輝度な投光機の影響により水滴由来のグレアだけでなく、レンズ由来のグレアも発生している。面白いことに提案手法により水滴由来のグレアが消去されたのは勿論、レンズ由来のグレアも減少している。これについては後ほど考察する。

表 1 はそれぞれのカメラセッティングと処理時間を示している。一枚の写真を PC に転送するのに約 1 秒を必要とするため、全処理時間は 1 秒 × 100 枚 + 露光時間 × 100 枚となる。撮影画像から水滴付着位置を特定するのに必要な処理時間は約 5 秒ほどである (Panasonic Let's Note CF-Y7, 1.2GHz CentrinoDuo, 2GB RAM, WindowsXP)。本実験では、100 秒以上という処理時間となったが、上記のように、その大半は画像を PC に転送する時間であり、この時間については装置構成の改善により無視できるレベルに短縮可能である。提案手法の原理的に必要な時間は、100 枚の画像の露光時間と、処理時間だけであり、それらを合計すると約数秒でグレア除去が可能になると期待できる。カメラ内の標本化と量子化のため、異なる時刻で撮影した画像間でピクセルのずれが発生することが予想されるが、提案手法では各画像の輝度値の標準偏差と輝度平均値を用いるため、ピクセルのずれによる影響は無視できるものと考える。

6. 検討

提案手法にはいくつかの制限がある。最大の制限は水滴付着位置を特定するために光シャッタ数分の写真撮影を必



(a) Glare Caused by Water Drop



(b) Remove Glare



(c) No Water Drop Image



(d) Standard Deviation

図 11 実験結果
Experimental results of removing glare.

要とするものである。これにより、本手法はスタティックなシーンにしか適用できず、水滴の増減、移動、変形にも対応できない。また、光シャッタアレイ全体が水滴に覆われた場合も対応できない。光シャッタアレイはレンズの直前に設置する必要があり、さもないと光シャッタアレイそのものが撮影画像中に現れてしまう。また、光シャッタとして使用している LCD パネルの光透過性が 40 % 程度と低い上、

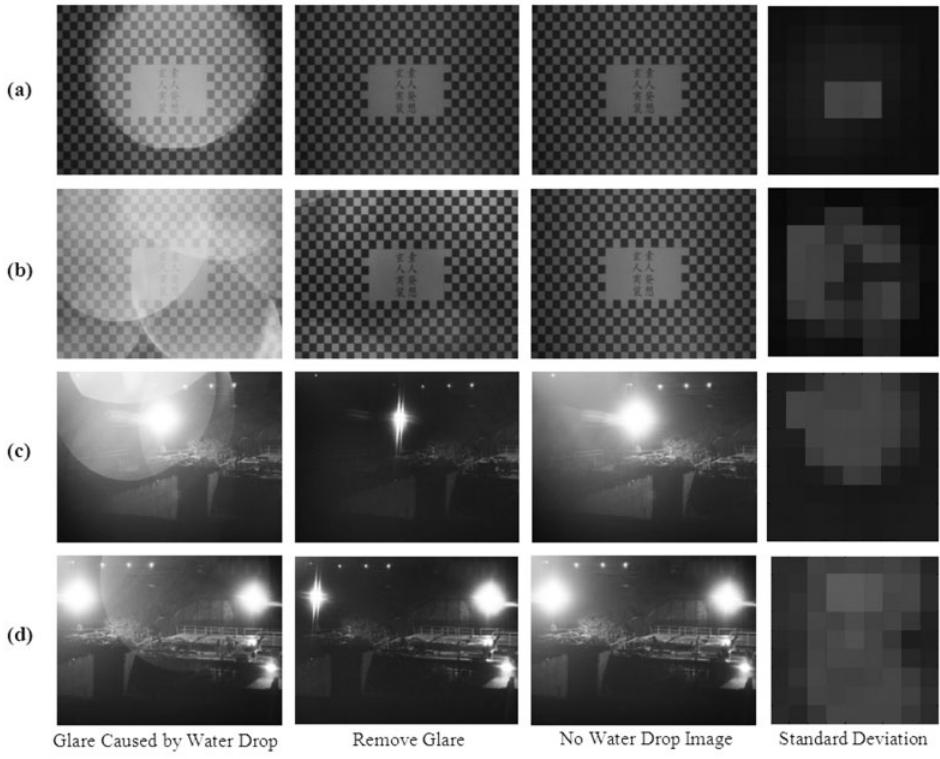


図 12 環境を変えた場合の実験結果
Various Experimental results of removing glare.

水滴が付着している位置の光シャッタを閉じるため、得られる画像が暗くなる問題もある。さらにLCDパネル自体が光を拡散する性質を持っているため、撮影画像の品質を損なう問題もある。例えば、図12(c)(d)に見られるように光源周囲にスターパターンが生成されてしまう。

ところで、図12の(c)(d)において、水滴の付着していない画像と水滴によるグレアを除去した画像を見比べると、水滴由来のグレアだけでなく、シーン中の明るい光源により発生したグレアも減少していることがわかる。つまり、我々の手法は水滴由来のグレアだけでなく、レンズとカメラボディ中の乱反射により発生するグレア除去へも応用が可能だと考えられる。

これを確認するために、図13に示す追加実験を行った。図13(a)では高輝度LEDライトをシーン中に設置し、グレアを発生させている。これに我々のグレア除去手法を用いた結果が図13(b)である。グレアが減少したことに加え、ハレーションも除去できていることが判明した。図13(c)は高輝度LEDライトをシーン中から撤去し、グレアが発生しない状態で撮影したものである。本追加実験では、實際には水滴は付着していないが、水滴の場合と同様にして、収集した $N \times N$ 枚の画像について、各画素毎に上記と同様にして閾値処理を施し、水滴領域を特定するのと同様な処理を行った。この結果得られた領域は、図13(d)に示すようにレンズの特定の領域で、グレアとハレーションが強く発生していることを示している。これは、グレアとハレーションの原因となるレンズとカメラボディ内の乱反射の大

半がこのレンズ領域に重点的に発生していることを意味していると考えられる。このため、水滴によるグレアと同様に、その領域の画像を除去することにより、グレアとハレーションが除去されたものと考えている。

なお、本実験では、光シャッタとして用いているLCDの遮光率が低い(約 10^5)ため、高輝度LEDライトを完全にブロックできておらず、グレアを完全に除去できていないが、より好適な光シャッタデバイスを開発できればこの問題は解決すると考えられる。また、本論文では光シャッタをレンズ前面に設置したため、光シャッタがレンズの保護ガラスとしても機能しているが、光シャッタをレンズ内に電子絞りとして組込んでも同様の結果が得られるものと考えられる。

7. む す び

我々は、本論文において光シャッタアレイを使用し、グレアを引き起こす水滴の位置特定手法とグレア除去手法の原理を提案した。我々の手法は市販されているデジタルカメラを使用して簡単に実現可能である。我々の手法は動的なシーンに対応しておらず、また、光シャッタとしてLCDを用いているため得られる画像が暗くなってしまうという問題がある。理想的な光シャッタデバイスはまだ開発されていないが、我々は次のステップとしてデジタルマイクロミラーデバイス(DMD)を光シャッタとして利用することを考えている。DMDはLCDと比べると遮光率、透過率、応答速度全てに優れるため、現在の問題はかなり改善

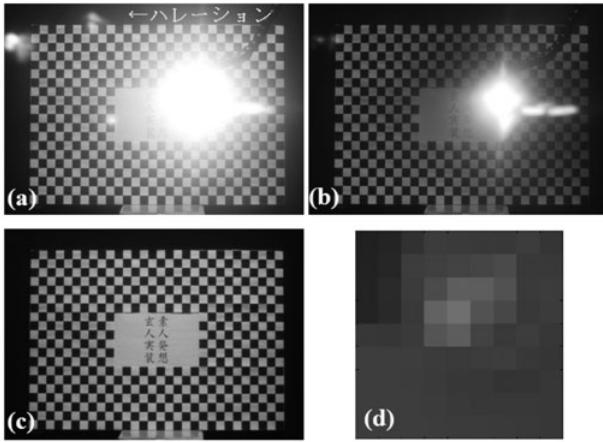


図 13 追加実験結果

Additional general glare removing experiment.

できるものと期待している。しかしながら、DMDはより多くのスペースが必要であり、高価であることが問題となる。また、LCD光シャッタをレンズ内に電子絞りとして組み込む場合についても検証を行いたい。現時点では本手法における制限は多いが、将来的には動的なシーンにおけるグレア除去も達成し、監視アプリケーションやテレビ放送といった分野への応用を進めていきたい。

〔文 献〕

- 1) S.K. Nayar and S.G. Narasimhan: "Vision in Bad Weather", IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2:820-827 (1999)
- 2) K. Garg and S. K. Nayar: "Photometric Model for Rain Droplets", Columbia University Technical Report (2003)
- 3) K. Garg and S.K. Nayar: "Detection and Removal of Rain from Videos", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 1:528-535 (2004)
- 4) Boynton, P. A., and Kelley, E. F.: "Liquid-filled Camera for the Measurement of High-contrast Images", SPIE, D. G. Hopper, Ed., 5080:370-378 (2003)
- 5) Faulkner, K., Kotre, C., AND Louka, M.: "Veiling Glare Deconvolution of Images Produced by X-ray Image Intensifiers", Proceedings of the Third International Conference on Image Processing and its Applications, 669-673 (1989)
- 6) Starck, J., Pantin, E., and Murtagh, F.: "Deconvolution in Astronomy: A review", Publications of the Astronomical Society of the Pacific 114:1051-1069 (2002)
- 7) Reinhard, E., Ward, G., Pattanaik, S., and Debevec, P.: "High Dynamic Range Imaging - Acquisition, Display and Image-based Lighting", Morgan Kaufman Publishers (2006)
- 8) S.K. Nayar, V. Branzoi and T. Boult: "Programmable Imaging using a Digital Micromirror Array", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 1:436-443 (Jun. 2004)
- 9) S. K. Nayar, V. Branzoi, and T. E. Boult: "Programmable Imaging: Towards a Flexible Camera", International Journal of Computer Vision archive 70(1): 7 - 22 (2006)
- 10) A. Zomet and S.K. Nayar: "Lensless Imaging with a Controllable Aperture", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 1:339-346 (2006)
- 11) S. K. Nayar and V. Branzoi: "Adaptive Dynamic Range Imaging: Optical Control of Pixel Exposures over Space and Time", IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2:1168-1175 (Oct. 2003)
- 12) Ashok Veeraraghavan, Ramesh Raskar, Amit Agrawal, Ankit Mohan and Jack Tumblin: "Dappled Photography: Mask Enhanced Cameras for Heterodyned Light Fields and Coded Aperture Refocusing", ACM Trans. Graph. 26(3):69 (2007)
- 13) Eino-Ville Talvala1, Andrew Adams, Mark Horowitz1 and Marc Levoy: "Veiling Glare in High Dynamic Range Imaging", ACM Trans. Graph. 26(3):37 (2007)
- 14) Ramesh Raskar, Amit Agrawal, Cyrus Wilson and Ashok Veeraraghavan: "Glare Aware Photography: 4D Ray Sampling for Reducing Glare Effects of Camera Lenses", ACM Trans. Graph. 27(3):54 (2008)
- 15) Isao Fukuchi, Atsushi Yamashita, Toru Kaneko and Kenjiro T. Miura: "Removing Adherent Noise from Image Sequences in Rainy Weather by Spatio-Temporal Image Processing", The Journal of The Institute of Image Information and Television Engineers, 62, .5, pp.771-777 (May 2008)
- 16) N. Otsu: "A threshold selection method from gray level histograms", IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Vol.9, pp.62-66 (1979)



はら
原
たけのり

1998 年、九州工業大学大学院情報工学部情報科学修士課程修了。同年大日本印刷株式会社入社。リアルタイム 3DCG 技術、VR 技術等の研究開発に従事。2005-2008 年、カーネギーメロン大学ロボティクス研究所 客員研究員。現在、主としてコンピュータビジョン技術を生活の場に応用する研究等に従事。



さいとう
斎藤
ひでお

1992 年、慶大院理工学研究科電気工学専攻博士課程修了。同年、慶大助手。その後専任講師、助教授を経て、2006 年、慶大理工情報工学科教授。この間、1997 年-1999 年まで、学術振興会海外特別研究員として米国カーネギーメロン大学ロボティクス研究所に滞在し、主に Virtualized Reality の研究に従事。2000 年-2003 年、JST さきがけ研究 21 「情報と知」領域研究員兼務。2006 年より、JST CREST 研究代表者。現在、主としてコンピュータビジョンとその VR 技術への応用に関する研究等に従事。博士（工学）。正会員。



かなで
金出
たけお

1974 年、京都大学電子工学科博士課程修了。1976 年、同 助教授。1980 年、カーネギーメロン大学 計算機科学科・ロボット研究所高等研究員、1985 年 同教授。1992-2001 年、カーネギーメロン大学ロボティクス研究所所長。1993 年、カーネギーメロン大学 U. A. and Helen Whitaker 記念教授。1998 年、カーネギーメロン大学 U. A. and Helen Whitaker 記念全学教授。2001 年、産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究ラボラボ長（非常勤）、2003 年、産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センターセンター長（非常勤）、2006 年、カーネギーメロン大学生生活の質工学研究センターセンター長。博士（工学）。正会員。