

## 反射型液晶を用いた適応的ダイナミックレンジカメラ

万波 秀年<sup>†</sup>      佐川 立昌<sup>†</sup>      向川 康博<sup>†</sup>      越後 富夫<sup>††</sup>  
八木 康史<sup>†</sup>

Adaptive Dynamic Range Camera with Reflective Liquid Crystal

Hidetoshi MANNAMI<sup>†</sup>, Ryusuke SAGAWA<sup>†</sup>, Yasuhiro MUKAIGAWA<sup>†</sup>,  
Tomio ECHIGO<sup>††</sup>, and Yasushi YAGI<sup>†</sup>

あらまし 屋外などの明暗の差が激しいシーンの情報を損なわずにカメラで撮影するためには、広いダイナミックレンジが必要である。そこで本研究では、反射型液晶を用いた適応的ダイナミックレンジカメラを提案する。本カメラでは、受光素子の前方に反射型液晶を配置し、液晶の出射効率を制御することで受光量を適応的に調節する。実際に構築したシステムを用いて屋内から窓の外を撮影する実験を行った結果、受光素子ごとに適応的な光量調節の実現を確認した。また、光量調節の情報からもとの光量を復元することで適応的ダイナミックレンジカメラが実現できることを確認した。

キーワード 反射型液晶、適応的ダイナミックレンジカメラ

## 1. ま え が き

カメラで入力されたデジタル画像は、入力光の強さを各色成分ごとに 8 bit、256 段階で表現されることが多い。しかし、シーン中の光量の差が著しい場合、強い光を受光した受光素子の近傍においてダイナミックレンジが十分に得られないことがある。これは、光を多く受けている受光素子の容量が飽和し、実際の光量をとらえられないからである。用途ごとのダイナミックレンジとして、例えば、車載用途では 130 dB 程度、暗闇から直射日光までをカバーするには 200 dB 程度が必要といわれており [1]、これらを線形な感度特性で完全に表現するためには、30 bit を超える階調が必要となる。実際にはガンマ補正などの非線形な感度特性により、一般のデジタルカメラでも 8 bit で 50~80 dB 程度のダイナミックレンジを表現できるものの、それでも上述の用途には及ばない。そのため、

受光量に対するダイナミックレンジを広げ、詳細な画像を得る要求が高まっており、また広ダイナミックレンジ画像の作成に関する研究が行われている。

システムのダイナミックレンジを広げるために、異なる露光により撮影する手法が提案されている。露光時間を段階的に変えて撮影する手法 [2]~[4] では、一つのシーンに対して数回撮影を行うため動きのあるシーンには適用できないという問題点がある。また、感度の異なる素子を組み合わせることで受光面を構成する手法 [5]~[8] では、複数の素子を組み合わせることで面積効率が低下するため空間分解能が低下するという問題点がある。これらの問題を解決する手法として、各素子の感度を可変的に変更する手法がある [9]~[11]。これらの手法では、部位ごとに減衰量を制御可能な素子を用いて入射光の強度に合わせて光量を調節することで、擬似的に感度を調節し、最適な感度で撮影を行う。これらの手法の利点として、通常のカメラを用いて受光素子ごとに感度を変えるだけであるため空間分解能は低下しない。更に、前フレームでの光量に基づいて感度を調節するため激しいシーン変化には追従できないという制限はあるものの、通常のシーンであれば動画にも適用可能なことが利点となっている。これらのことから、感度を可変的に変更する手法は様々な場面への応用が考えられる。

<sup>†</sup> 大阪大学産業科学研究所, 茨木市

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University, 8-1 Mihogaoka, Ibaraki-shi, 567-0047 Japan

<sup>††</sup> 大阪電気通信大学情報通信工学部情報工学科, 寝屋川市

Dept. of Engineering Informatics, Faculty of Information and Communication Engineering, Osaka Electro-Communication University, 18-8 Hatsu-cho, Neyagawa-shi, 572-8530 Japan

光量を調節する素子として [9], [10] では透過型液晶 [11] では Digital Micromirror Device (DMD) が用いられていた。しかし、透過型液晶を用いた場合には、液晶素子間に存在する駆動回路のために受光素子と液晶素子間の対応付けが難しく、受光素子ごとの光量調節が難しい。また DMD を用いた場合には、DMD が高速スイッチング動作するため、速いシャッタースピードのカメラとの組合せでは光量を細かに制御できないという問題がある。

そこで本研究では、光量を調節する素子として反射型液晶を用いた適応的ダイナミックレンジカメラを提案する。実際に反射型液晶を用いたシステムを構築し、シーンに応じて光量調節をする。また、もとの光量を復元することで広ダイナミックレンジカメラを実現する。

以降 2. で光量調節によるダイナミックレンジの拡大について、3. で反射型液晶を用いたシステムを、4. で実際に構築したシステムを用いた実験結果を順に説明する。

## 2. 光量調節による広ダイナミックレンジ化

本手法では、部位ごとに減衰量を制御できる素子を用いて受光素子に入射する光量を調節し、そこからもとの光量を復元することでカメラのダイナミックレンジを広げる。まず、光量調節に用いる素子について述べ、次に光量調節による広ダイナミックレンジ化の原理について述べる。

### 2.1 光量調節に用いる素子

本節では、光量調節に用いる素子の違いについて述べる。部位ごとに感度を変えるための素子として、透過型液晶、反射型液晶、DMD がある。以下にそれぞれについて説明する。

**透過型液晶** 液晶では偏光状態を調節することで明暗の差を生じさせる。透過型液晶のモデルを図 1 (a) に示す。図にあるように、光を透過させることで偏光状態を調節し、階調性を実現する。そのため、駆動回路を液晶素子間に配置する必要がある。この駆動回路のために開口率が低下し、他の素子に比べコントラスト比が劣る。

**反射型液晶** 反射型液晶 [12] とは、半導体チップとガラス基板の間に液晶を挟んだ素子であり、LCoS (Liquid Crystal on Silicon) とも呼ばれる。反射型液晶のモデルを図 1 (b) に示す。透過型液晶と同様に、液晶により偏光状態を調節することで階調性を実現す

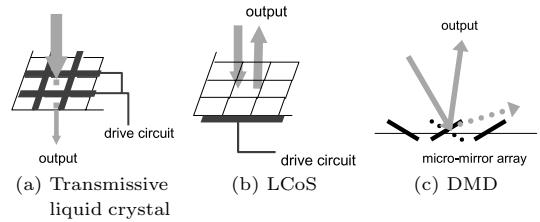


図 1 光量調節に用いる素子のモデル  
Fig. 1 Models of light control device.

るが、入射光を反射させるため光路は異なる。また、反射面の裏に駆動回路を配置する事が可能なため、より高いコントラスト比を実現できる。

**DMD** DMD はマイクロサイズの鏡を敷き詰めた素子である。DMD のモデルを図 1 (c) に示す。図のように、ミラーを on/off の 2 状態で制御することで光の反射方向を調節し、明暗の差を生じさせることができる。各ミラーの状態を高速に切り換えることにより時分割で階調性を実現している。

本手法において、これらの素子をカメラと組み合わせ、光量調節に用いることを考えると次の性質が要求される。

- 画素ごとに光量調節が可能
- 速いシャッタースピードのカメラとの組合せが可能

透過型液晶を光量調節に用いた場合には、フィルタのように用いることが可能なため扱いが簡易であるという利点があるものの、液晶の駆動回路の大きさが画素に比べて無視できないほど大きいため、液晶面上にフォーカスを合わせた場合に大量の光が遮断されてしまう。そのため液晶面上にフォーカスを合わせることができず、画素ごとの光量調整ができない [9], [10]。それに加え、液晶を透過することによりぼけが生じるといった問題がある。また DMD を用いた場合には、画素ごとの光量調整が可能であるものの、DMD が時分割により明暗の差を生じさせているためカメラのシャッタースピードのような短い時間では十分なコントラストを発揮することはできない。特に、速いシャッタースピードが求められるシーンにおいてはこの問題が顕著に現れ、本手法のようにカメラとの組合せで用いる素子としては適していない。また、DMD のスイッチングとカメラのシャッターの同期をとる必要があるため装置が複雑になってしまう。

一方、反射型液晶を用いた場合には、駆動回路を液晶面の裏側に配置できる [13] ため液晶面にフォーカス

を合わせた場合でも駆動回路による問題は生じず，光を反射させることで明暗の差を生じさせるためぼけも起こらない．また，時分割ではなく偏光状態により明暗を調節するため，カメラと組み合わせて用いた場合にも性能を発揮できる．

以上をまとめると表 1 のようになる．表から，本手法において用いる素子としては反射型液晶が適切であることが分かる．

2.2 広ダイナミックレンジ化の原理

本手法では著しく光量の多い領域からの光量を減少させ，そこからもとの光量を算出することでシステムのダイナミックレンジを広げる．そのため，入射光と出射光の割合，つまり出射効率を部位ごとに調節可能な素子をカメラの受光素子の前方に配置したシステムを用いる．図 2 に本手法による光量調節のモデルを示す．受光素子の前方に素子を配置しているため，調節素子の出射効率を制御し減衰量を増加させることで受光量が減少する．受光量の減少により光量の多い領域においても受光素子が飽和しなくなるため，カメラがとらえることのできる光量が広がり，結果としてダイナミックレンジが広がる．また，部位ごとに射出効率を制御できるため，シーン中で光量の多い領域に対して適応的にマスクをかけることができる．これは絞りを調整するなどカメラの性質を変える場合と異なり，光量が相対的に少ない領域に対して作用しない．

なお，時刻  $t$  で受光素子に届く光量  $I_t$  は，システムに入射する光量  $L_t$  と調節素子の出射効率  $A_t$  を用いて次のように表される．

$$I_t = L_t \cdot A_t \tag{1}$$

表 1 用いる素子によるシステムの比較  
Table 1 Comparison of each device.

	画素ごとの光量調整	カメラとの組合せ
透過型液晶	x	
反射型液晶		
DMD		x

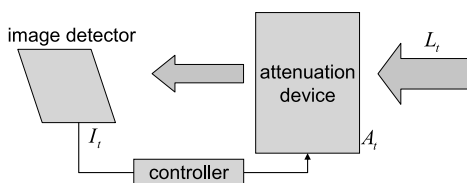


図 2 素子による光量調節のモデル  
Fig. 2 Radiance control model by attenuation device.

ここで，素子の制御を実時間で行うことができれば，シーンの変化にも対応できるため動画にも適用できる．

また，カメラがとらえた減衰後の光量，及び調節素子の出射効率からシーンの光量を算出することで広ダイナミックレンジ画像を作成することが可能である．調節素子により減衰される前の光量  $L_t$  は式 (1) より次式で表される．

$$L_t = I_t / A_t \tag{2}$$

なお，量子化誤差の少ない光量情報を得るためには，シーン中の光量に応じて出射効率  $A_t$  を適切に制御する必要がある．射出効率の制御については 3.3 で述べる．

3. 反射型液晶を用いた適応的ダイナミックレンジカメラ

本章では反射型液晶を用いた適応的ダイナミックレンジカメラの実現方法について述べる．まず，反射型液晶の動作原理について述べ，次にシステム構成，光量調節のための液晶の制御法について述べる．

3.1 反射型液晶の動作原理

2.1 で述べたように，反射型液晶では液晶面で光を反射させ，偏光状態を調節することで階調性を実現する．反射型液晶では階調性を実現するために，図 3 のように入射光を反射面に対して垂直に入射する必要がある．そのため，反射光を分光するためにビームスプリッタが必要となる．なお，明暗の差を生じさせるために偏光板を用いるのではなく，偏光ビームスプリッタを用いることも可能である．

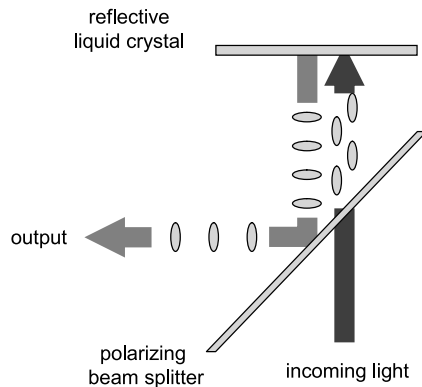


図 3 反射型液晶の動作原理  
Fig. 3 The principle that LCoSSs achieve contrast.

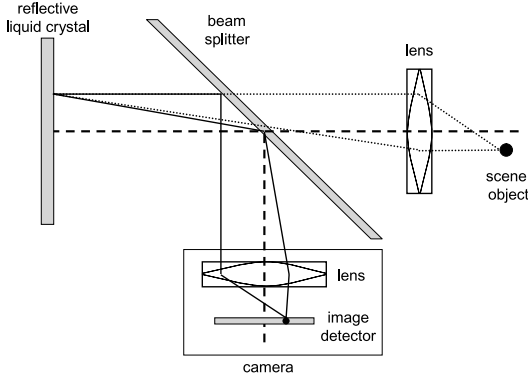


図 4 反射型液晶を用いたシステムのモデル

Fig. 4 Model of the proposed system with LCoS.

### 3.2 システムの構成

反射型液晶を用いたシステムのモデルを図 4 に示す。液晶面上、受光面上それぞれに結像するようにレンズを配置することで液晶面上にフォーカスを合わせることができ、受光素子ごとの光量調節を可能としている。これは液晶面の前に配置されたレンズにより入射光が液晶面で像を結び、そして液晶面を経た光がカメラのレンズを通して受光面で再び結像するためである。このシステムでは反射型液晶により光を反射することで光の減衰を行う。このときの液晶の出射効率と光量の関係は式 (1) によって表すことができる。

上記のモデルではレンズと液晶面間にビームスプリッタが存在するため、各レンズは長い焦点距離をもつ必要がある。しかしシステムの汎用性を考えた場合、特に対物側に配置するレンズとしては魚眼レンズや望遠レンズなど様々なレンズをシーンに合わせて利用したいという要求があるため、このような制限は好ましくない。

そこで、図 5 のようにリレーレンズを組み込むことによりこの問題を解決する。リレーレンズとは光学系内のある点からほかの点に、実像を伝達するレンズ系である。またこの際に像の大きさを変更することもできる。図 5 のモデルでは 2 枚のレンズを組み合わせてリレーレンズを構成し、左右のレンズ、及び左方のレンズと下方のレンズをそれぞれ組にしている。図中右端に配置したレンズにより結ばれる像を、2 組のリレーレンズを用いて液晶面、受光面へと伝達することで、液晶により減衰された光が受光素子に入射する。ここで、図中右端に配置したレンズ以外を一つの撮像システムと考えると、システム外にあるレンズで集光

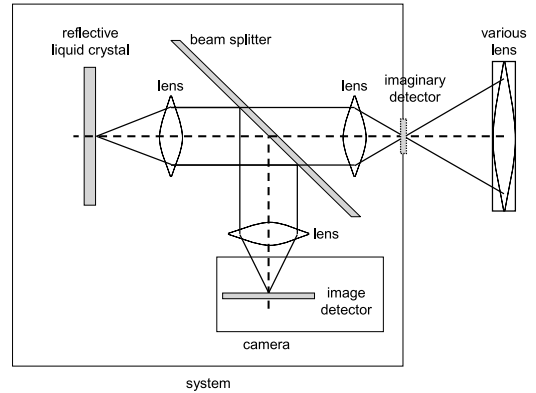


図 5 リレーレンズを用いたシステムのモデル

Fig. 5 Extended model combined with relay-lenses.

された光が、液晶により適応的に光量を調節され受光面で結像する、適応的ダイナミックレンジカメラが実現できる。

なお、本システムの実装の際にはシステムのキャリブレーションを行う必要がある。キャリブレーションとして、受光素子と液晶の位置関係、液晶の制御と出射効率の関係がある。本手法においては [10] と同様にホモグラフィから受光素子と液晶の位置関係を求め、液晶を制御したときの光量の変化を実際に計測することにより液晶の制御と出射効率の関係を求める。

### 3.3 液晶の制御方法

本手法では、液晶を部位ごとに制御することでより正確な光量の計測を行い、より精度の高い広ダイナミックレンジ画像の作成を可能にする。本手法における光量調節の際のシーンの光量と液晶の出射効率、カメラの受光量の関係を模式的に表したものを図 6 に示す。この例では、液晶の出射効率を一様に制御して異なる光量  $L_1, L_2, L_3$  を撮影した場合 (図 6(a)), カメラのダイナミックレンジを超える光量  $L_3$  に対応する素子は飽和してしまい、ダイナミックレンジ内にある光量  $L_1, L_2$  は観測できるものの、弱い光量  $L_1$  を量子化することで誤差が比較的大きくなってしまふ。そのため、このとき得られた受光量から広ダイナミックレンジ画像を作成した場合には正しく光量を復元できない。そこで (図 6(b)) のように、強い光量  $L_3$  に対応する素子の出射効率を  $A_3$  へと低下させることで受光素子の飽和を起こさずシーンを撮影でき、また弱い光量  $L_1$  に対応する素子の出射効率を  $A_1$  へと向上させることで量子化誤差が抑えられる。

また、量子化誤差を抑えて、システムのダイナミッ

クレンジを最大限に発揮するためには、受光素子が飽和を起こさない最大の光量となるように光量を調節し、カメラのダイナミックレンジを最大限に利用する必要がある。しかし、光量が最大となるように調節した場合には、わずかな光量の増加により素子が飽和してしまうため、シーンの光量を正しく復元することができなくなってしまう。そのため、光量変化に対して余裕をもつように光量を調節しなければならない。そこで適切な光量  $I_{opt}$  を定義し、光量を  $I_{opt}$  に調節する方針をとる。

以上を実現するために本手法では、カメラで撮影された光量をもとに液晶の出射効率を制御する。時刻  $t$  において受光素子に届く光量を  $I_t$  とすると、この情報をもとにして次フレームでの素子の出射効率  $A_{t+1}$  を決定する。次フレームでシステムに入射する光  $L_{t+1}$  は液晶により出射効率  $A_{t+1}$  だけ減衰され、受光素子に入射する光量は  $I_{t+1}$  となる。ここで、光量を調節するための適切な出射効率  $A_{t+1}$  は光量  $I_t$  によって変化する。例えば受光量が多い場合には出射効率  $A_{t+1}$  を低下させ、逆に受光量が少ない場合には出射効率  $A_{t+1}$  を向上させ、素子が得る光量が適切な値  $I_{opt}$  となるように調節する。時刻  $t + 1$  において得られる光量を  $I_{opt}$  に調節したとすると、式 (1) より次式が成り立つ。

$$I_{opt} = L_{t+1} \cdot A_{t+1} \tag{3}$$

ここで、シーン中の光量  $L_t$  の時間変化が小さいと仮定すると、式 (1) と式 (3) より、出射効率  $A_{t+1}$  は得られる光量に応じて次式により決定する。

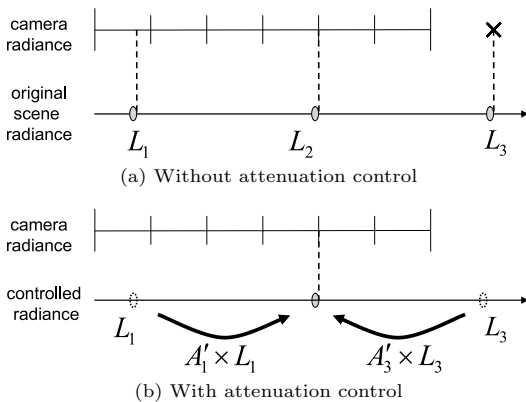


図 6 光量と出射効率の関係

Fig. 6 Relation between camera radiance and attenuation rate.

$$A_{t+1} = \min \left( \frac{I_{opt}}{I_t + \varepsilon} A_t, 1 \right) \tag{4}$$

ここで、 $\varepsilon$  は式の値を不定にしないための極めて小さな数である。

#### 4. 評価実験

本章では反射型液晶を用いた適応的ダイナミックレンジカメラの実装、及び実験結果について述べる。まず実装したシステムについて述べ、次にシステムのダイナミックレンジの評価、シーンに適応的な光量の調節、そして光量の復元による画像の広ダイナミックレンジ化の結果について述べる。

##### 4.1 試作システム

試作したシステムを図 7 に示す。なお、ここでは 3.2 のモデルのうち図 5 で述べたリレーレンズを用いたシステムを試作した。構築したシステムではカメラとして PointGreyResearch Flea を用い、反射型液晶として Brillian Z86D-3 を利用している。また本システムでは、2 枚配置時の透過率が 15% の偏光板と、1 度の入射で光量が約 30% に減衰するビームスプリッタを組み合わせて用いることで液晶の階調性を実現した。入射光は 2 枚の偏光板に 1 度ずつ、ビームスプリッタに 2 度入射するため、 $15\% \times 30\% \times 30\% = 1.3\%$  程度に光量が減衰される。なお、一般的な構成として偏光ビームスプリッタを用いた場合には、入射光は偏光状態によって 2 分されるため、光量の減衰は  $50\% \times 50\% = 25\%$  程度に抑えられる。使用した反射型液晶は  $800 \times 600$  の解像度をもち、そのうち約  $500 \times 400$  ピクセルの領域を  $1024 \times 768$  の解像度のカメラで撮影している。このように、試作システムでは

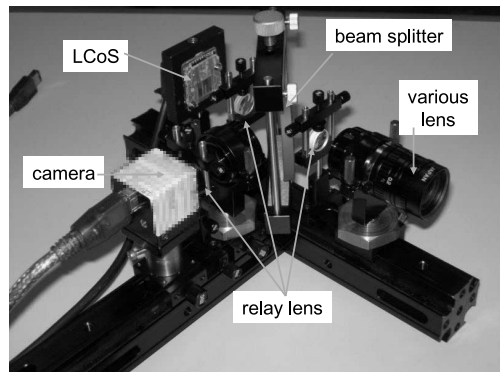


図 7 反射型液晶を用いたシステムの概観

Fig. 7 Over view of the prototype system.

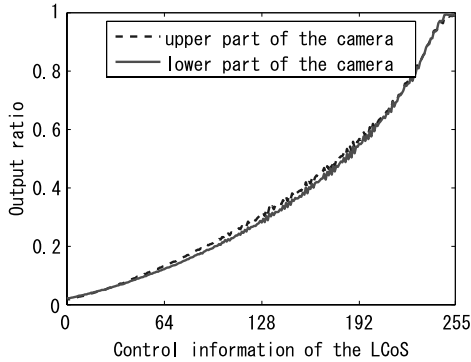


図 8 反射型液晶の制御と出射効率の関係  
Fig. 8 Attenuation effect of the LCoS control.

カメラの受光素子数よりも対応する液晶素子数が少ないため、厳密には画素ごとに独立して光量を制御することができない。この問題は一つの液晶素子の制御が複数の受光素子に影響することが原因で生じるため、光量制御に用いる液晶素子の数を受光素子数と同等以上にすることで改善できると思われる。なお、撮影の際にはシステム全体を覆い、外乱光が入射しないようにする。

システムのキャリブレーションの結果として、液晶を制御した際の出射効率の変化についての計測結果を図 8 に示す。グラフ中ではカメラ上部とカメラ下部で計測した液晶の制御情報と出射効率の変化の関係を表している。グラフの横軸は液晶の制御情報を表し、本システムでは液晶を 8 bit の情報で制御しているため 256 段階になっている。グラフの縦軸は液晶の出射効率を表しており、液晶の出射効率を最大にしたときの光量を 1 として正規化されている。図 8 から分かるように、液晶の制御による出射効率の変化は液晶中における位置によりほぼ変わらない。本手法では、液晶の出射効率と制御の関係が素子全体と同様であると仮定し、処理の高速化を図っている。また本システムでは、経験的に光量の増加はフレーム間でたかだか 2 倍以内と仮定したため、3.3 で述べた適切な光量  $I_{opt}$  を 128 と設定して液晶の制御を行った。

前述のように試作システムではカメラの受光素子に比べ液晶素子の数が少ないため、画素ごとに厳密に独立して光量を制御することはできない。例として、光量を制御せずに撮影した画像 (図 9 (a)) と光量制御後の画像 (図 9 (b)) 中、破線で示した領域内の横軸方向での輝度値の変化を図 10 に示す。図 10 中で横軸は画像中の横座標、縦軸は輝度値を表しており、実線が

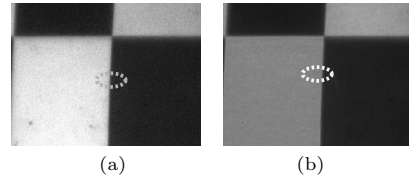


図 9 輝度変化の大きいシーンでの光量制御  
Fig. 9 An experimental result of radiance control.

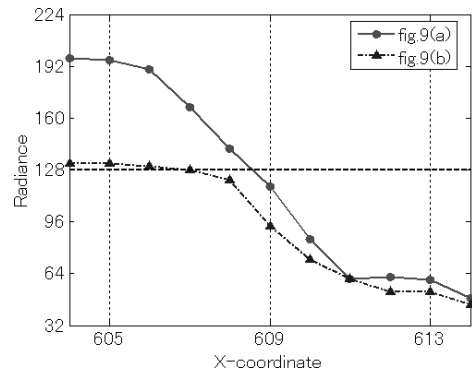
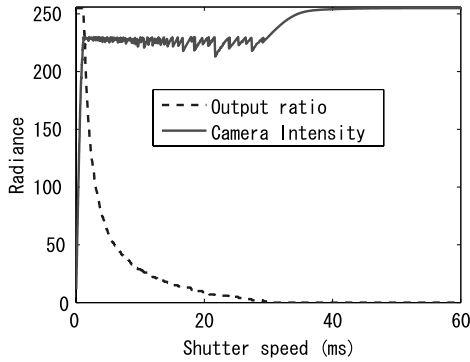


図 10 境界部における光量調節の影響  
Fig. 10 Effect of radiance control in edge region.

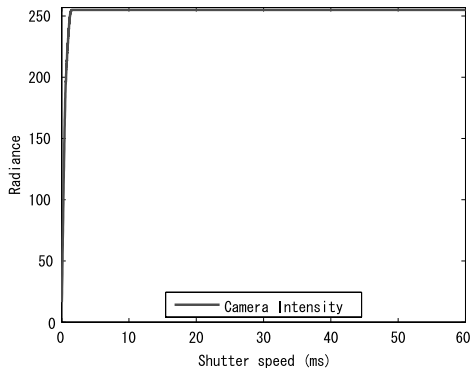
図 9 (a)、点線が図 9 (b) のデータを表している。前述のように適切な光量  $I_{opt}$  を 128 と設定しているため、実線のうち左部は光量を抑制される。また、図 9 (a) は液晶の出射効率を最大にして撮影されたものなので実線のうち右部の光量は増幅されない。実線と点線と比較すると、左部は 128 付近、右部は実線とほぼ同程度の輝度値となっているが、境界部分では実線においても  $I_{opt}$  以下であるにもかかわらず光量の抑制が見られる。このように、画素数の違いによる問題は主に光量の多い領域と少ない領域の境界において現れる。

#### 4.2 システムのダイナミックレンジ

ここでは、本システムのダイナミックレンジの評価について述べる。ダイナミックレンジの評価のために、入射光量に対するシステムの出力を計測した。実験では、カメラに入射する光量を段階的に変化させ、受光素子の飽和が起こらないように液晶の出射効率を制御して撮影を行い、入射光量に対するカメラの出力を計測した。また、通常のカメラとの比較のため、液晶の出射効率を固定して同様の実験を行った。なお、ここではカメラのシャッタースピードを制御することで入射光量の段階的な制御を行ったが、カメラのシャッタースピードは 0.1 ms 以下の精度で調節可能であり、例えば 0~2 ms の区間で 140 点と、横軸方向に密な計



(a) Controlled attenuation



(b) Fixed attenuation

図 11 入射光量に対するカメラの出力

Fig. 11 Output of the camera to various amount of light.

測を行った。

計測結果をグラフにしたものをそれぞれ図 11 に示す。グラフの横軸は、カメラのシャッタースピードであり、入射光量に比例している。また、縦軸はカメラの出力である輝度値を表している。なお、図 11 (a) では、光量変化とともに液晶の射出効率の変化を示している。

これらの結果をもとに、それぞれのシステムの入力と出力の関係をグラフにしたものを図 12 に示す。グラフの横軸はシステムの入射光量を表しており、縦軸はシステムとして出力する光量を表している。

図 11、図 12 より、明らかに本システムの方が広い範囲の入射光に対応できることが分かる。また、図 12 における出力の最大値においては、45.2 倍の差があった。これらのことより、本システムにより通常のカメラのダイナミックレンジが広がっているといえる。

#### 4.3 適応的な光量の調節

光量の調節に関する実験は日中に室内から窓の外を

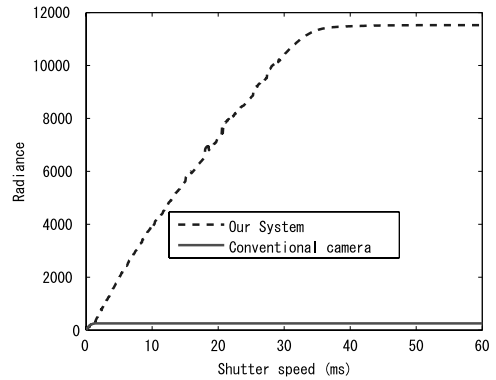


図 12 ダイナミックレンジの比較

Fig. 12 Comparison of system dynamic range.

撮影することで行った。図 13 (a) に液晶による光量の調節をしていない状態の画像として、上段に撮影画像、下段に光量調節のために液晶に表示するマスク画像を示す。窓の外などにおいて、太陽光の影響により受光素子が飽和状態にあることが分かる。また、光量調節をしていないため、マスク画像にはシーンの情報が全くない。本手法では図 13 (a) のように受光素子の飽和が生じている画像からシーンに最適なマスク画像を得るには、(1) 画像の撮影、(2) 撮影された画像をもとにした液晶の制御という手順を繰り返す必要がある。経過段階の撮影画像、マスク画像を図 13 (b) に、最終的に得られた画像を図 13 (c) に示す。なお、図 13 (a) を撮影してから図 13 (c) の画像を取得するには上記の手順を 7 回繰り返した。本手法に従いフィルタの射出効率を制御することで、特に光の強い部分を除き、受光素子が飽和しないよう光量が調節されていることが確認できる。特に強い光として、このシーンでは屋外の建物バルコニー部にある手すりにおいて、図 13 (c) 中でも受光素子の飽和、及び周辺素子への光の漏れが見られる。これは金属の手すりの鏡面反射により、直射日光のような強い光が入射しているためと考えられ、試作システムでの限界と考えられる。

#### 4.4 広ダイナミックレンジ画像の作成

次にもとの光量を算出することで広ダイナミックレンジ画像を作成した。もとのシーン光量は、光量を調節して撮影した画像 (図 13 (c) 上段) とそのときの液晶の射出効率 (図 13 (c) 下段) から式 (2) により算出した。

作成した広ダイナミックレンジ画像のうち、光量の少ない部分の情報、多い部分の情報をそれぞれ図 14 (a)、

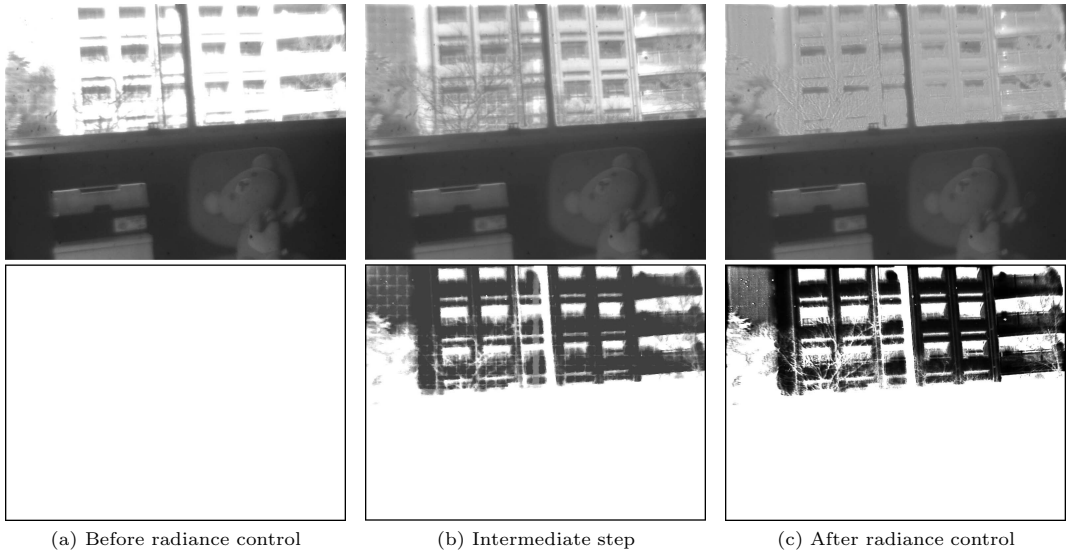


図 13 提案システムを用いた光量の調節  
Fig. 13 Radiance control using proposed system.



図 14 提案システムによる広ダイナミックレンジ画像  
Fig. 14 WDR captured by the proposed system.

(b) に示す．これらの画像は異なる露光により同じシーンを撮影した画像と同等の情報をもっていることが分かる．図 14 (a) では，露光時間を長くして撮影した画像と同等の情報をもっているため，光量の少ない領域，例えば画像中では部屋の内部の情報として箱やぬいぐるみの形状が詳しく確認できる．また，図 14 (b) の画像では露光時間を短くして撮影した画像と同等の情報をもっているため，光量の多い領域，屋外の建物の窓などを確認できる．また，得られたシーン光量を 1 枚の画像で表現する方法として，log スケールで表現したものを図 14 (c) に示す．図では窓の外，部屋の中の情報を同時に確認できるため，システムで表現できる明暗の範囲が広がっているといえ，適応的ダイナミックレンジカメラが実現できていることが分かる．

## 5. む す び

本論文では，反射型液晶を用いて各受光素子ごとに感度を変えることのできる適応的ダイナミックレンジカメラを提案した．実際に構築したシステムを用いた実験により，シーンに適応的な光量の調整，及びもとの光量の復元による画像の広ダイナミックレンジ化が実現できることを確認した．システムに用いる受光素子は一般的なものであるため，1. で挙げた他の手法と組み合わせることによる更に広いダイナミックレンジが期待でき，応用が多岐にわたると考えられる．

今後の課題としては，システムの小型化が考えられる．図 5 で示したようにシステムを一つのカメラとしてとらえた場合，構成が複雑なため通常のカメラに比べてサイズが大きくなってしまふ．そのため，FOP



(Fiber Optic Plate) を用いるなど、効率的な光学設計によりシステム全体の小型化を目指す。

文 献

- [1] 須川成利, “広ダイナミックレンジ CMOS イメージセンサ技術,” 映像学技報, vol.30, no.32, pp.25–32, 2006.
  - [2] B.C. Madden, “Extended intensity range imaging,” Technical Report MS-CIS-93-96, University of Pennsylvania, 1993.
  - [3] P. Debevec and J. Malik, “Recovering high dynamic range radiance maps from photographs,” Proc. SIGGRAPH, pp.369–378, 1997.
  - [4] T. Mitsunaga and S.K. Nayar, “Radiometric self calibration,” Proc. CVPR, vol.1, pp.374–380, 1999.
  - [5] R.J. Handy, “High dynamic range ccd detector/imager,” US patent 4623928, 1986.
  - [6] M. Konishi, M. Tsugita, M. Inuiya, and K. Masukane, “Video camera, imaging method using video camera, method of operating video camera, image processing apparatus and method, and solid-state electronic imaging device,” US patent 5420635, 1995.
  - [7] S.K. Nayar and T. Mitsunaga, “High dynamic range imaging: Spatially varying pixel exposures,” Proc. CVPR, vol.1, pp.472–479, 2000.
  - [8] 光永知生, “SVE 方式広ダイナミックレンジ撮影技術,” 情処学研報, CVIM147-20, pp.155–162, 2005.
  - [9] S.K. Nayar and V. Branzoi, “Adaptive dynamic range imaging: Optical control of pixel exposures over space and time,” Proc. ICCV, vol.2, pp.1168–1175, 2003.
  - [10] 万波秀年, 佐川立昌, 向川康博, 越後富夫, 八木康史, “透過型液晶フィルタリング方式によるカメラの広ダイナミックレンジ化,” 計測自動制御学会論文集, vol.41, no.12, pp.1026–1035, 2005.
  - [11] S.K. Nayar, V. Branzoi, and T. Boult, “Programmable imaging using a digital micromirror array,” Proc. CVPR, vol.1, pp.436–443, 2004.
  - [12] 遠藤 学, “液晶パネル ( “LCoS” ) の最新技術,” 映像学誌, vol.60, no.9, pp.1356–1359, 2006.
  - [13] 佐藤 浩, “反射型液晶パネル対応プロジェクター光学系,” 日本光学会誌, vol.35, no.6, pp.318–323, 2006.
- (平成 18 年 10 月 6 日受付, 19 年 2 月 8 日再受付)



万波 秀年

2005 阪大・基礎工・情報科学卒。2006 同大学院情報科学研究科コンピュータサイエンス専攻修士課程了。現在、同専攻博士後期課程在籍中。



佐川 立昌 (正員)

1998 京大・工・情報工卒。2000 東大大学院工学系研究科情報工学専攻修士課程了。2003 同大学院工学系研究科電子情報工学専攻博士課程了。大阪大学産業科学研究所助手を経て 2007 年 4 月より同大学助教。実時間視覚処理と物体のモデリングの研究に従事。博士(工学) 日本ロボット学会, 情報処理学会, IEEE 各会員。



向川 康博 (正員)

1997 筑波大学大学院博士課程工学研究科了。同年～2002 岡山大学助手。2003～2004 年 10 月筑波大学講師。大阪大学助教を経て 2007 年 4 月より同大学准教授。コンピュータビジョン, 複合現実感の研究に従事。博士(工学)。情報処理学会, 日本バーチャルリアリティ学会, IEEE 各会員。



越後 富夫 (正員)

1980 阪府大・工・電気卒, 1982 同大学院修士課程了, 2003 大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程了。博士(工学)。1982 日本アイ・ビー・エム(株)入社。同社東京基礎研究所においてロボットビジョン, 知能映像メディアの研究に従事。2003 大阪大学客員教授。2006 大阪電気通信大学情報通信工学部情報工学科教授。医用画像処理, 映像検索の研究に従事。情報処理学会, 日本ロボット学会各会員。



八木 康史 (正員)

1983 阪大・基礎工・制御卒。1985 同大学院修士課程了。同年三菱電機(株)入社。同社産業システム研究所にてロボットビジョンの研究に従事。1990 大阪大学基礎工学部情報工学科助手。同学部システム工学科講師, 同大学院助教授を経て, 2003 より同大学産業科学研究所教授。1995～1996 英オックスフォード大学客員研究員, 2002 仏ピカルディエー大学招聘助教授, 全方位視覚センシング, 画像理解, 知能ロボットに関する研究に従事。1996 年度本会論文賞, 2003 年 ACM VRST2003 Honorable Mention Award, IEEE, 情報処理学会, 日本ロボット学会各会員。博士(工学)。