

デュアルISOセンシングを用いた高ダイナミックシーンにおける高画質生成法

郷 地洋[†] 簡 健丞[†] 木下 裕磨[†] 塩田さやか[†] 貴家 仁志[†]

[†] 首都大学東京システムデザイン学部 〒191-0065 東京都日野市旭ヶ丘 6-6

E-mail: †{gochi,sayaka,kiya}@tmu.ac.jp, ††{chien-chiencheng,kinoshita-yuma}@ed.tmu.ac.jp

あらまし 本稿では、Dual-ISO センシングを用いた高ダイナミックシーンの高品質な画像生成法を提案する。Dual-ISO センシングは行単位で画素のISO感度を変更することで、一枚の画像から二種類のISO感度で撮影した画像を同時に取得する手法である。Dual-ISO センシングに基づく高ダイナミックシーン撮像技術は、複数回の撮影による多重露出合成法で問題となるゴーストの発生が生じない。提案手法では、Dual-ISO センシングで取得された画像の合成において、新たな露出補正法と画像強調法の検討を行う。露出補正では、Raw 画像に対して局所コントラスト強調を直接、施すことで、画像の中の暗い箇所に対して、より詳細な情報を取得する。さらに、高ISO感度と低ISO感度の画像が共存することを考慮して、高輝度領域での過度な強調を回避した画像強調法の適用を考察する。実験では、従来のDual-ISO センシングによる画像合成法及びSingle-ISO センシングで撮影された画像と比較を行うことで、提案手法の有効性を確認する。また、各種カメラパラメータの値と視覚的な特性との関係を考察して、Dual-ISO センサ使用時の適切なパラメータ設定及び露出補正についても考察する。

キーワード 高ダイナミックレンジ画像処理、空間的露出変化、Dual-ISO センサ

High Quality Image Generation in High Dynamic Scenes from Dual-ISO Sensor Readout

Chihiro GO[†], Chien CHIENCHENG[†], Yuma KINOSHITA[†], Sayaka SHIOTA[†], and Hitoshi KIYA[†]

[†] Faculty of System Design, Tokyo Metropolitan University, 6-6, Asahigaoka, Hino-shi, Tokyo, 191-0065
Japan

E-mail: †{gochi,sayaka,kiya}@tmu.ac.jp, ††{chien-chiencheng,kinoshita-yuma}@ed.tmu.ac.jp

Abstract This paper proposes a generation scheme of high quality images from Dual-ISO sensor readout for high dynamic scenes. Dual-ISO sensing is a technique to obtain raw images sensed by using two types of sensors having different ISO sensitivities every two lines. In the high dynamic scene imaging using the Dual-ISO sensing, there are no ghost issues, which multiple exposure image fusion scheme have. In this article, a new exposure correction method and an image enhancement method are considered for the Dual-ISO sensing. The proposed exposure correction method is applied to locally enhance some contrasts in dark areas of raw images. Then, considering the property of images generated by using two sensors with different ISO sensitivities, an image enhancement method allowing to avoid excessive emphasis in high brightness areas is applied to RGB images. Experimental results show the effectiveness of the proposed method, by comparing the proposed one with conventional imaging schemes under both of Dual-ISO imaging and Single-ISO one. Besides, the relationship between various camera parameters and visual characteristics is considered, and how to set camera parameters is shown for the proposed scheme.

Key words High Dynamic Range Imaging, Spatially Varying Exposures, Dual-ISO Sensor

1. はじめに

高ダイナミックレンジ (High Dynamic Range, HDR) 画像の取得に関する研究が盛んに行われている [1]。これは、既存の主な撮像デバイスでは、ダイナミックレンジが狭く、人間が識別できる現実シーンのダイナミックレンジを表現できないことが背景にある。既存の撮像デバイスでは、高ダイナミックシーンを撮影した場合、白とびや黒つぶれが発生してしまう。このことは、自動車の自動運転や各種安全装置、屋外での監視カメラ撮影などにおいて急務な課題となっている。

HDR 画像を取得するために、ダイナミックレンジの広いセンサを用いて直接画像を取得する手法が考えられる。しかし、そのようなデバイスは非常に高価であり、普及には至っていない。そこで、標準ダイナミックレンジ (Standard Dynamic Range, SDR) 画像を用いた HDR 画像合成法の研究が活発に行われてきた。HDR 画像合成法のアプローチとして、多重露出画像合成がある。この手法は、同一のシーンを複数の異なる露出で複数回撮影を行い、それらを合成することによって HDR 画像を生成する手法である。しかし、時間的に異なるタイミングで複数回撮影するため、撮影時のカメラや被写体の動きが起因して、合成画像にゴーストが発生してしまふ。したがって、動きの補正やゴーストの軽減に関する研究が、この HDR 画像合成のために研究が進められている [2, 3]。

このような背景から、Spatially Varying Exposures (SVE) 方式と呼ばれる高ダイナミックシーン撮像技術が注目されている [4-6]。この方式では、一枚の画像内で画素ごとに露出を変化させ、一度の撮影で露出の異なる複数のサブ画像を取得する。次に、サブ画像を合成することで、HDR 画像を生成する方式である。SVE 方式では、一枚の画像から HDR 画像を取得するので、ゴースト除去を必要としない。画素毎に露光時間を変化する方式 [4, 5] と、画素毎に ISO 感度を変化させる方式 [6] があるが、本稿では、既存なカメラに直接適用可能な、後者の Dual-ISO センサを用いた方式について考察し、Dual-ISO センシングされた画像から高品質な画像を生成する方法を提案する。Dual-ISO センサは行ごとに ISO 感度を変更することにより、一度のシャッターで二つの ISO 感度の情報を持つ画像を取得することができる。その結果、一度のシャッターで複数の ISO 感度を用いることができ、一度のシャッターで複数の露出を取得することが可能となる。一方、高い ISO 感度を用いる場合、イメージセンサが捉えた光量を増幅させているため、同時にノイズが増幅する可能性が高くなる [7, 8]。そこで、提案法では、ノイズを考慮した画像強調を行うことで、ノイズ軽減も考慮する。本稿では、いくつかのシーンに対して実験を行い、視覚的評価を行うことで、提案法の有効性を確認する。

2. 準備

デジタルカメラは、一般に絞り、シャッタースピード、ISO 感度の三つの要素によって画像の露出が決定する。絞りやシャッタースピードはレンズを通る光量を調整するパラメータであり、ISO 感度はセンサの捉える光量を決定するパラメータ

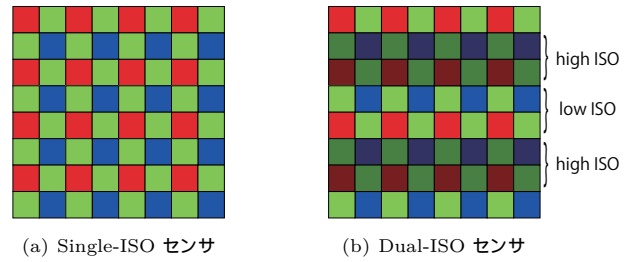


図 1 Raw 画像生成のためのカラーフィルタ例

である。それぞれの値を変更することで、同一のシーンを撮影した場合でも、明るさの異なる画像を取得することができる。例えば、絞りやシャッタースピードの値が同じでも、ISO 感度の値が低い場合、画像全体が暗くなる。一方、ISO 感度の値が高い場合、画像全体が明るくなる。しかし、ISO 感度が高い場合、センサで捉えた光量を増幅させるが、同時にノイズを増幅してしまう。本稿では、ISO 感度に着目した Dual-ISO センサの活用を考察する。

2.1 Dual-ISO センサ

Dual-ISO センサを、Canon 社製の一眼レフで利用可能なファームウェア拡張ソフトである Magic Lantern [9] を使用する場合を例として説明する。

Dual-ISO センサは、空間的に配置されたセンサに対して行単位で異なる ISO 感度を用いる。二種類の ISO 感度を用いることで、高 ISO 感度の撮像素子では、暗い箇所の詳細な情報を捉え、低 ISO 感度の撮像素子では、明るい箇所の詳細な情報を捉えることができる。Dual-ISO センサでは、図 1(b) のように二行ごとに ISO 感度を変更する。ここで、一行ごとに ISO 感度を変更した場合は、一方の ISO 感度は R 成分及び G 成分だけを取得し、他方の ISO 感度は G 成分及び B 成分だけを取得してしまう。この場合、良好なデモザイク処理を行うことができない。このことから、Dual-ISO センサでは二行ごとに ISO 感度を変更している。

2.2 画像合成手順

Dual-ISO センサでセンシングされたデータは、以下の手順に従い画像合成される [6] (図 2 参照)。

A 画像分割及び補間処理

Dual-ISO センサによって取得されるサイズ $M \times N$ の Raw 画像は、ISO 感度に従い $M/2 \times N$ の二枚の画像にまず分割される。次に各 $M/2 \times N$ の Raw 画像に対してそれぞれ補間処理を施し $M \times N$ の Raw 画像を二枚生成する。文献 [6] では、Raw 画像に対する補間処理である AMaZE という補間法を用いている。

B 露出補正

本合成手法では、二枚の Raw 画像を合成する前に、露出値 e (Exposure Value, EV) の補正を行う。座標 (i, j) における露出値を $e(i, j)$ 、画素値を $x(i, j)$ と置くと、両者は次式の関係になる。

$$e(i, j) = \log_2(\max(x(i, j), 1)) \quad (1)$$

ただし、Raw 形式の取得する画素値の階調が n bit の場合、露

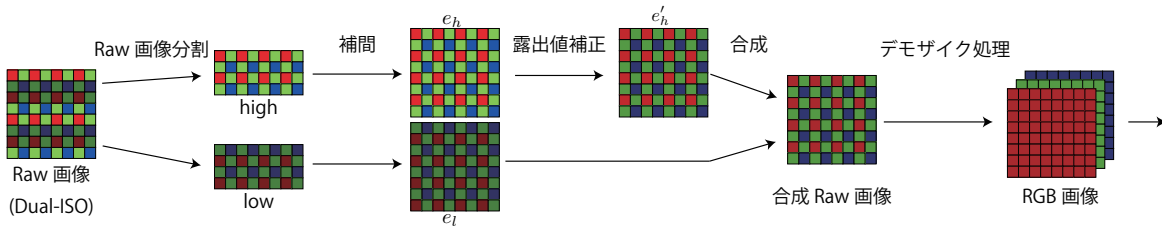


図 2 画像合成手順のフローチャート

出値 e の取り得る値は $0 \leq e \leq n$ となる．高 ISO 感度を用いた場合，画像全体が明るくなり，白とびを起こす可能性が高い．そこで，先行研究では，次式を用いて高 ISO 画像の露出値の補正を行う．

$$\hat{e}(i, j) = e(i, j) - \log_2 \left(\frac{\text{iso}_{\text{high}}}{\text{iso}_{\text{low}}} \right) \quad (2)$$

ただし， iso_{high} ， iso_{low} はそれぞれ Dual-ISO センサで用いた高 ISO 感度，低 ISO 感度の値を指す．

C 画像合成

低 ISO 感度設定された画素は，一般に視覚的に明るい箇所，つまり露出値が高い箇所の詳細な情報を持つ．一方，高 ISO 感度設定された画素は，視覚的に暗い箇所である露出値が低い箇所の詳細な情報を持つ．以上の性質を考慮すると，露出値の単純平均で合成を行うのは適切ではない．つまり，合成の際，露出値が高い箇所では，低 ISO 感度の重みを重くし，低い箇所では，高 ISO 感度の重みを重くすることで明るさに関わらず，詳細な情報を持つことができると考えられる．以上のことより，次の合成式が提案されている．

$$e_{\text{mix}}(i, j) = e_{\text{high}}(i, j) \cdot k + e_{\text{low}}(i, j) \cdot (1 - k) \quad (3)$$

ここで， e_{high} ， e_{low} はそれぞれ高 ISO 感度，低 ISO 感度設定された画素での露出値であり， k は混合係数である．なお，混合係数 k は次式から得る．

$$k = \frac{1 - c}{2} \quad (4)$$

$$c = \begin{cases} \cos \left(\frac{\pi \cdot (e_{\text{high}} - t_1)}{t_2 - t_1} \right) & , t_1 \leq e_{\text{high}} \leq t_2 \\ 1 & , e_{\text{high}} < t_1 \\ -1 & , e_{\text{high}} > t_2 \end{cases} \quad (5)$$

ただし， t_1, t_2 は任意の閾値とし，本稿では，文献 [6] に従い， $t_1 = 3, t_2 = t_1 + 11 - \log_2(\text{iso}_{\text{high}}/\text{iso}_{\text{low}})$ とする．以上の合成法によって得た露出値 e_{mix} から画素値への変換は，式 (1) を式変形することで次式で示すことができる．

$$x(i, j) = 2^{e_{\text{mix}}(i, j)} \quad (6)$$

以上の手法で取得した画像は Raw 形式であるため，実際に視認するには，この後にデモザイク処理を施す必要がある．

3. 提案手法

ここでは，Dual-ISO センシングを用いた画像合成法に対して，新たな露出補正法を提案する．また，デモザイク処理後の

画像に対して，Dual-ISO センシング画像に適した画像強調法について考察する（図 3 参照）．

3.1 Raw 画像のコントラスト強調と露出補正

従来手法では，式 (2) に基づき露出補正を行なう．一方，提案手法では，露出補正法として，RGB 画像に対して提案された木下らの手法 [10] を，Raw 画像に対して拡張した手法を用いる．[10] では，RGB 画像から輝度成分を求め，輝度に対して，局所コントラスト強調を行った後に露出補正を行う．局所コントラスト強調を行うことで，暗部において，より詳細な情報を取得できる．

Dual-ISO センシングされた Raw 画像に対しては，Raw 画像から輝度成分をまず取得する．隣接する 4 つの画素 $x(i, j), x(i + 1, j), x(i, j + 1), x(i + 1, j + 1)$ を一つのブロックと仮定し，4 つの画素から共通の輝度値を求める．例えば， $x(i, j)$ が R 成分の場合，Bayer 配列では $x(i + 1, j), x(i, j + 1)$ は G 成分， $x(i + 1, j + 1)$ は B 成分を持つことがわかる（図 4 参照）．RGB 成分の値から輝度成分の値を求める式は ITU-R BT.601 [11] に準じて次式の通りである．

$$y(i, j) = 0.257x(i, j) + 0.504 \left(\frac{x(i + 1, j) + x(i, j + 1)}{2} \right) + 0.098x(i + 1, j + 1) + 16 \quad (7)$$

ただし，一つのブロックには，G 成分が二つあるため，G 成分は二つの画素値の平均値を用いる．

式 (7) によって得られた輝度値 $y(i, j)$ に対して，[10] と同様に Dodging and burning アルゴリズムを用いた局所コントラスト強調を次式に従い実行する．

$$y_c(i, j) = \frac{y^2(i, j)}{y_a(i, j)} \quad (8)$$

ただし， $y_a(i, j)$ は画素 (i, j) まわりに対してローパスフィルタを適用することで得られる輝度値である．提案手法では，パイラテラルフィルタを用いる．

局所コントラスト強調を行なった輝度値 $y_c(i, j)$ に対して，次式を用いて露出補正された輝度値 $\hat{y}(i, j)$ を得る．

$$\hat{y}(i, j) = 2^k y_c(i, j) \quad (9)$$

この式は，カメラ応答関数を線形と仮定している． $k = 1, k = 2$ の時， $\hat{y}(i, j)$ の露出値はそれぞれ $y(i, j)$ に比べ，1 と 2 [EV] 高くなる．その後，露出補正された輝度値 $\hat{y}(i, j)$ と式 (7) の $y(i, j)$ を用いて次式より露出補正後の画素値 $\hat{x}(i, j)$ を得る．

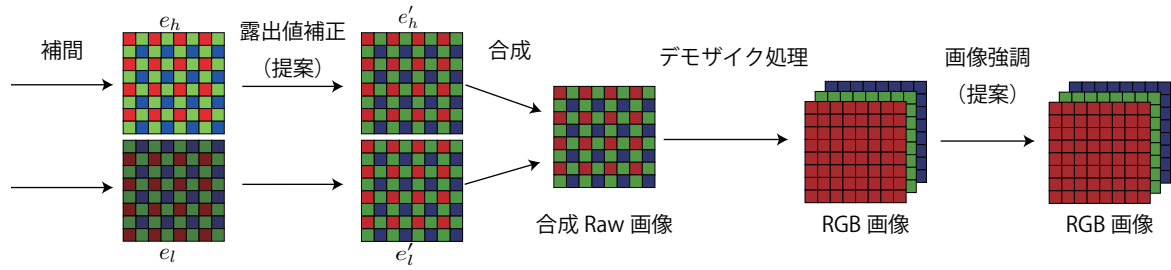


図 3 提案する画像合成法

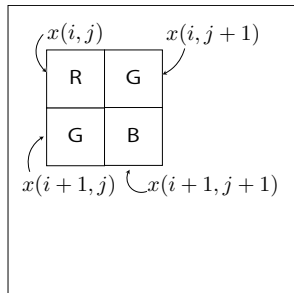


図 4 輝度値計算のためのブロック例

$$\hat{x}(i, j) = \frac{\hat{y}(i, j)}{y(i, j)} x(i, j) \quad (10)$$

ブロック内の他の 3 つの画素に対しても、共通の補正された輝度値 $\hat{y}(i, j)$ を用い、 $x(i, j+1)$, $x(i+1, j)$, $x(i+1, j+1)$ の新しい画素値を求める。例えば、 $x(i, j+1)$ に対しては、次式のようなになる。

$$\hat{x}(i, j+1) = \frac{\hat{y}(i, j)}{y(i, j)} x(i, j+1) \quad (11)$$

次に、式 (9) の k , すなわち露出補正について述べる。従来手法 [6] では、高 ISO 感度でセンシングされた画像の露出 e_h を、低 ISO 感度の画像の露出 e_l に一致するように k を設定している ($e'_h = e_l$)。これは、低 ISO 感度値に ISO を設定し、オートモードで撮影する際にカメラが決定する各パラメータ (シャッタースピード、絞り値) を Dual-ISO センシングで使用することを仮定しているためである。しかし、このような設定及び補正の下では、高 ISO 感度の画像は暗部の詳細な情報を持つ可能性が高いが、高 ISO 感度の画像のみならず、低 ISO 感度の画像も明部の詳細な情報を持つことが困難になることが多い。

そこで、本稿では、Dual-ISO センシングされた画像の両方の露出値を調整し、かつ ISO 感度以外のカメラパラメータ設定についても実験的に考察する。

3.2 画像強調

撮影された画像の暗部は一般に光量不足のため多くのノイズを含む (SN 比が悪い)。さらに、Dual-ISO センシングでは、高 ISO 感度の画像と低 ISO 感度の画像を同時に取得する。そのため、画像強調によって、暗部のノイズも同時に強調され、画像が劣化する。さらに、明部では、画像強調を行うことで、白とびや過強調が生じやすい。そこで、Dual-ISO センシングされた画像の強調法として、暗部でのノイズの増幅を抑え、高輝度領域 (明部) に対して過度な強調を回避した方法が必要とな



図 5 実験に用いたシーン
(ISO : ISO 感度, F : 絞り, SS : シャッタースピード (秒))

図 5 実験に用いたシーン

(ISO : ISO 感度, F : 絞り, SS : シャッタースピード (秒))

る。本稿では、それらを考慮した画像強調法である文献 [7] の方法を Dual-ISO センシングの画像強調法として用いる。

4. 実験

提案手法の有効性を確認するため、実際にデジタルカメラを用いて、図 5 の二つのシーンに対して、様々な条件下で撮影を行う。これらのシーンは、暗部と明部が共存し、広いダイナミックレンジがその表現に要求される。

4.1 実験条件

実験に用いたカメラは Canon 社の EOS 5D MarkII である。Dual-ISO センシングは、ファームソフトウェア Magic Lantern を使用している。絞りは各シーンで固定とする。これは、絞りを変更した場合、被写体深度が変わるため、ISO 感度とは関係のない箇所では画像に差が生まれてしまうためである。シーン 1 では、 $F = 3.5$ 、シーン 2 では、 $F = 4.0$ に固定とする。取得した Raw 画像に対するデモザイク処理として、Malvar らの手法 [12] をすべての画像に対して共通に用いた。また、すべての画像に $\gamma = 2.2$ のガンマ補正を施している。

A 実験 1 (Single-ISO センシング)

Single-ISO センシングで撮影したシーン 1 の結果を図 6 に示す。使用した ISO 感度は 100, 400, 1600 の三種類であり、それぞれのシャッタースピードは ISO 感度及び絞りを固定した際のカメラの自動露出で設定された値である。Single-ISO センシングでは、全ての画像で本来存在する雲の輪郭が白とびが原因となり、失われてしまっている。

B 実験 2 (従来法に基づく Dual-ISO センシング)

Dual-ISO センシングで撮影された画像に対して、従来法に基づく合成処理を施した結果を図 7 に示す。ISO 感度は 100 と 1600 を用いた。図 6 との大きな違いはなく、Dual-ISO センシングを用いたにも関わらず、高品質な画像を取得できなかった。

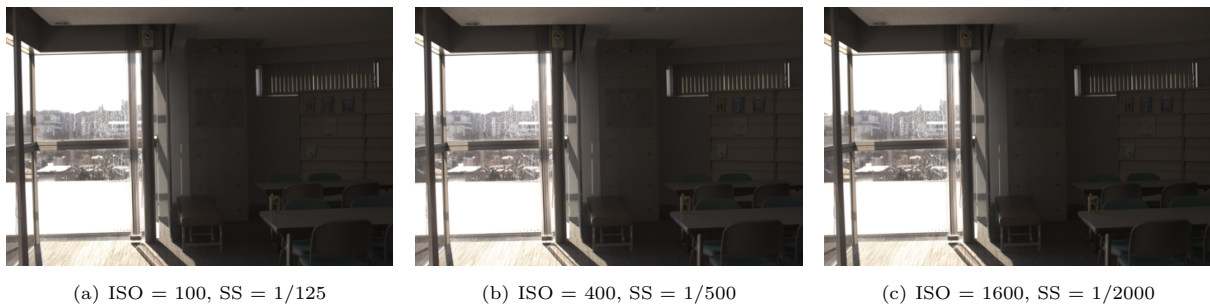


図 6 Single-ISO センサ ($F = 3.5$)

C 実験 3 (提案法に基づく Dual-ISO センシング)

提案法に基づく合成結果を図 8 に示す。図 8(a) では、Single-ISO センシング及び従来手法同様、雲の輪郭が欠落している。一方、図 8(b), 8(c) では、雲の輪郭を捉えることができた画像を取得できている。このことは、図 7(b), 7(c) では Dual-ISO センシングによって雲や空の情報が獲得できていたにも関わらず、画像合成法の影響によってその情報が活用できていないことを意味する。

D 実験 4 (シーン 2 での比較)

図 9 に、シーン 2 の場合の比較を示す。提案法によって、特に暗部での画質が改善されているのがわかる。

5. ま と め

本稿では、Dual-ISO センシングを用いた高ダイナミックシーンにおける高画質生成法を提案した。提案手法は、露出補正を ISO 感度の異なる二枚の画像に対して施し、明暗共により詳細な情報を表現できるようにした。また、画像強調法として、暗部のノイズ増幅を抑え、かつ明部の過強調を考慮した方法を Dual-ISO センシングに対して適用した。いくつかの画像に対して、実験を行うことで、提案手法の有効性を確認した。また、今後は、Dual-ISO センサを用いた際により良好な結果を示すパラメータの設定法を検討する予定である。

文 献

- [1] P. Sen and C. Aguerrebere, "Practical High Dynamic Range Imaging of Everyday Scenes: Photographing the world as we see it with our own eyes," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol.33, no.5, pp.36–44, Sept. 2016.
- [2] E.A. Khan, A.O. Akyuz, and E. Reinhard, "Ghost Removal in High Dynamic Range Images," *Image Processing, 2006 IEEE International Conference on*, pp.2005–2008 2006.
- [3] C. Lee and E.Y. Lam, "Computationally Efficient Truncated Nuclear Norm Minimization for High Dynamic Range Imaging," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol.25, no.9, pp.4145–4157, Sept. 2016.
- [4] J. Gu, Y. Hitomi, T. Mitsunaga, and S. Nayar, "Coded rolling shutter photography: Flexible space-time sampling," *Computational Photography (ICCP), 2010 IEEE International Conference on*, pp.1–8, 2010.
- [5] H. Cho, S.J. Kim, and S. Lee, "Single-shot high dynamic range imaging using coded electronic shutter," *Computer Graphics Forum*, vol.33, pp.329–338, 2014.
- [6] A1EX, "Dynamic range improvement for some canon dsrls by alternating iso during sensor readout". https://accoutts.com/a1ex/dual_iso.pdf, 2013.

- [7] C. Chien, Y. Kinoshita, S. Shiota, and H. Kiya, "Image contrast enhancement based on noise aware shadow-up function," *IEICE technical report*, IE, Feb. 2018.
- [8] H. Su and C. Jung, "Low light image enhancement based on two-step noise suppression," *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2017 IEEE International Conference on*, pp.1977–1981, 2017.
- [9] "Magic Lantern". <http://www.magiclantern.fm>
- [10] Y. Kinoshita, T. Yoshida, S. Shiota, and H. Kiya, "Pseudo Multi-Exposure Fusion Using a Single Image" *Proc. AP-SIPA Annual Summit and Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, Dec. 2017*.
- [11] "ITU-R BT.601-5". <http://www.itu.int>
- [12] H.S. Malvar, L.-w. He, and R. Cutler, "High-quality linear interpolation for demosaicing of bayer-patterned color images," *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2004. Proceedings. (ICASSP'04). IEEE International Conference on*, vol.3, pp.485–488, IEEE, May 2004.



(a) $SS = 1/125, e'_h = e_l$

(b) $SS = 1/500, e'_h = e'_l = \frac{e_h + e_l}{2}$

(c) $SS = 1/2000, e'_l = e_h$

図 7 従来手法 (ISO = 100/1600, F = 3.5)



(a) $SS = 1/125, e'_h = e_l$

(b) $SS = 1/500, e'_h = e'_l = \frac{e_h + e_l}{2}$

(c) $SS = 1/2000, e'_l = e_h$

図 8 提案手法 (ISO = 100/1600, F = 3.5)



(a) 提案法

(b) 従来法



(c) 提案法の拡大図

図 9 シーン 2 の比較 (ISO = 100/1600, F = 4.0, SS = 1/50, $e'_h = e'_l = \frac{e_h + e_l}{2}$)