ビデオ信号 (E_R , E_G , E_B) 特性を考慮した広範囲輝度分布計測Measurement of High Dynamic Range Luminance Based on Video Signal (E_R , E_G , E_B)

正会員 永井康雄^{†1}, 多田村克己^{†2}, 秦学英^{†3}, 正会員 中前栄八郎^{†4}
 Yasuo Nagai^{†1}, Katsumi Tadamura^{†2}, Xueying Qin^{†3} and Eihachiro Nakamae^{†4}

Abstract For the color design of outdoor industrial products, such as cars, models rendered by computer must harmonize with background photographs of each frame of the video sequence in color and shape. This is possible only using high dynamic range luminance corresponding to not only the achromatic luminance signal but also individual video signals (E_R , E_G , E_B). Portability and simplicity are also desired to obtain the data for the luminance distribution corresponding to weather changes. We developed a method for taking digital photos with a fish-eye lens and an ND filters that acquires a complete skylight luminance distribution based on a video signal (E_R , E_G , E_B).

キーワード：輝度計測，天空光，カラーデザイン，HDR，イメージベースドレンダリング，RGB表色系

1. ま え が き

車等の屋外工業製品のカラーデザインにコンピュータグラフィックスを活用する場合，設計対象モデルのCGとその背景写真またはビデオシーケンスの各フレームには，その形状だけでなく，光学的な整合性が求められる．背景撮影時における被写体（モデル）への入射光源として，太陽直達光および天空光の全方位からの色光，すなわち高信頼度のビデオ信号 (E_R , E_G , E_B) 別輝度を入手することが重要である．本論文では，簡易でかつ可搬性に富み，高精度なハイダイナミックレンジ (HDR) の (E_R , E_G , E_B) 別輝度測定が可能な，全天空輝度分布の一計測手法について提案する．

シャッタ速度，絞りを変えた複数枚の映像信号から，広範囲放射輝度信号を復元するHDR手法¹⁾が提案されて以来，HDR関連の論文が多数発表されるようになった．例えば，

映像の飽和部分および露光不足部分の補正を目的としたダイナミックレンジを用いた計測法として，1個のミラーボールをレンダリング対象モデルの位置に設置し，その反射光を高速度シャッターデジタルカメラで撮影する方法²⁾，さらにこのカメラを平板上で移動させることにより，レンダリング対象物周囲の入力光情報を獲得する方法³⁾，また，2台の魚眼レンズカメラを用いてステレオ技法を活用し，環境光マッピング用パッチを生成する手法⁴⁾，直接天空光を撮影する際のレンズのヴィネティングと赤外線感度，およびNDフィルタのスペクトル透過特性を議論したもの⁵⁾などが開発されている．しかし，これらは，モノクロの輝度信号 E_Y を取り扱い，この信号の飽和領域のみに対処しており，色度すなわち，ビデオ信号 (E_R , E_G , E_B) 個々の信号の飽和および下限の誤差を考慮していない．また，何れもその測定範囲は太陽直達光に飽和値を用いている．

日中の屋外モンタージュおよび合成ビデオの作成（例えば⁶⁾）には，CIE（国際照明委員会）の晴天および完全曇天に対する標準天空輝度分布^{7) 8)}を使用している．また，中間的な平均天空を含む全天候対応のモデル（例えば^{9) ~ 11)}）がある．しかし，これらは天空光のみの輝度分布を対象としており，太陽直達光の計測は対象から除外され，天空の色度情報をもたない．天空輝度と天空色温度を計測し，両者の相関係数を統計的に求める方法¹²⁾は，計測が高価なこと，撮影現場の天空光分布に対応できない難点がある．

換言すると，これらは何れも規準白色 ($E_R \approx E_G \approx E_B$) に近い曇天時の光源輝度分布と仮定したのと等価である，したがって秋空，朝焼け，夕焼け時の高彩度の光源に照射される屋外用のカラフルな定輝度係数¹³⁾の低い製品のデザイ

2005年2月28日受付，2005年8月18日最終受付，2005年9月5日採録

†1 広島工業大学 工学部

(〒731-5193 広島市佐伯区三宅2-1-1, TEL 082-921-3121)

†2 山口大学 工学部

(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1, TEL 0836-85-9700)

†3 浙江大學

(〒310027 杭州市浙大路38号, TEL +86-571-8795 1111)

†4 株式会社三英技研

(〒730-0014 広島市中区上職町3-26 広島メイプルビル4F, TEL 082-228-2221)

†1 Hiroshima Institute of Technology

(2-1-1, Miyake, Saeki-ku, Hiroshima, 731-5193, Japan)

†2 Yamaguchi University

(2-16-1, Tokiwadai, Ube-city, Yamaguchi, 755-8611, Japan)

†3 Zhejiang University

(38 Hangzhou, Zhejiang Province, 310027, P.R. China)

†4 Sanei Co.Ltd.

(3-26, Hiroshima Maple Building 4F, Kaminoborimachi, Naka-ku, Hiroshima, 730-0014, Japan)

ンに対しては不十分であり、天空光の撮影に当たっては、広範な輝度範囲の光源に照射される多様な彩色の被照モデルに対応できる、可搬性に富んだ簡易なデータ取得法が望まれる。

本論文では、これらの要件を満たすため、魚眼レンズ着装のデジタルカメラとNDフィルタを併用し、HDRの(E_R , E_G , E_B)信号別全天空光入射輝度を保証する撮影手法と較正法を提案する。すなわち、次節ではビデオ信号(E_R , E_G , E_B)別輝度計の較正法について論述し、3節では全方位の天空光の(E_R , E_G , E_B)別輝度の簡便な撮影法を提案し、その有効性を示す。終わりに結論と今後の課題について記述する。

2. ビデオ信号(E_R , E_G , E_B)と輝度 L_Y

本節では、屋内基礎実験を通して、提案するビデオ信号(E_R , E_G , E_B)別輝度計の較正法と精度の検証を、以下の組合せの計測により行う。

- (1) 光源：メタルハライドランプ(4,000K)および蛍光灯(6,300K)
- (2) ターゲット：CIERGB表色系の規準白色紙
- (3) 使用カメラ：ニコンCoolpix990+コンバータ(FC-E8)
- (4) ホワイトバランス：撮影時に規準白色紙で補正する(Preset), 予めメーカーによりセットされる(Sun), 撮影の都度自動的に変更される(Auto)
- (5) シャッタ速度 S (k)： $(k=1/8, 1/15, 1/30\text{sec})$
- (6) 絞り F (l)： $(l=7.0)$

2.1 輝度信号 E_Y と輝度 L_Y

カメラの画像エンジンで γ 補正されたNTSC規格のビデオ信号(E_R , E_G , E_B)各8ビットと無彩色輝度信号 E_Y の関係

$$E_Y = 0.299E_R + 0.587E_G + 0.114E_B \quad (1)$$

を使用し、輝度計の輝度値 L_Y (cd/m^2)を真値とする。以下、上記の組合せの、代表的な例を挙げて議論する。

(1) 光源の色温度と輝度信号

図1に、Preset・ $S(1/8)$ ・ $F(7.0)$ ・規準白色紙を設定した場合の、メタルハライドランプおよび蛍光灯について、

図1 輝度信号 E_Y vs. 輝度 L_Y 特性への光源色温度の影響
Influence of color temperature of light sources on E_Y vs. L_Y .

て、輝度信号 E_Y と輝度 L_Y の関係を示す。

メタルハライドランプと蛍光灯両者の E_Y は、極めてよく一致しており、その特性は、対数目盛りの L_Y (cd/m^2)に対して、2本の折れ線で近似できる。すなわち、式(1)を用いて次式で表すことができる。

$$\begin{aligned} L_{Y1} &= 11.2e^{0.0144E_Y} \quad (E_{Y1\max}(235) > E_Y \geq E_{Y1\min}(66)) \\ L_{Y2} &= 5.24e^{0.0254E_Y} \quad (E_{Y2\max}(66) > E_Y > E_{Y2\min}(20)) \end{aligned} \quad (2)$$

なお、本システムは、映像信号が8ビットの無彩色デジタル表記の場合、黒が16レベル、100%レベルが235に設定されていることを勘案して、輝度計への適用範囲を20から235レベルの範囲に設定する。

(2) ホワイトバランスと輝度信号 E_Y

図2に、メタルハライドランプ・規準白色紙・ホワイトバランス(Preset, Sun, Auto)を適用した場合の、 E_Y と L_Y の関係を示す。3者の L_Y は、上記の E_Y の適用範囲内では、図1と大体同一特性をしており、同じ E_Y に対する輝度差は5%以内で、一見従来のHDR法で充分に見える。この場合の L_Y と、(E_R , E_G , E_B)の関係を図3(a)～図3(c)に示す。

- (a) Presetの折れ線は、事前にホワイトバランスを調整しているから、当然のことながら任意の L_Y に対して、 $E_R = E_G = E_B$ で、かつシャッタ速度 $S(1/8, 1/15, 1/30)$ の変化に対する輝度も比例関係を保っている。
- (b) Sunは、3区間の折れ線からなり、 $E_R > E_G > E_B$ で、かつ L_Y に対する(E_R , E_G , E_B)特性は平行を保っており、この範囲内では L_Y の大きさに関係なく、一定の色度を保持している。すなわち、少なくとも定輝度係数が1の白色に近い被照面に対しては、PresetとSunは、($E_{Y1\max} > (E_R \cup E_G \cup E_B) \geq E_{Y2\min}$)の範囲外の画素の輝度 L_Y に対しても、露出の異なる映像の画素を使用することにより、($E_{Y1\max} > (E_R \cap E_G \cap E_B) \geq E_{Y2\min}$)を満足する(E_R , E_G , E_B)別輝度 L_C が得られることを示している。
- (c) 一方、Autoは、 $E_R > E_G \approx E_B$ で、高輝度区間で E_R が大きく、小さくなるにしたがって彩度が低下し、平行な領域を持たないから、異なる露出の映像間での色

図2 輝度信号 E_Y vs. 輝度 L_Y 特性へのホワイトバランスの影響
Influence of white balance on E_Y vs. L_Y .

図3 ビデオ信号 (E_R, E_G, E_B) vs. 輝度 L_Y 特性へのホワイトバランス・シャッター速度の影響. (a) Preset, (b) Sun, (c) Auto.
Influence of white balance and shutter speed on (E_R, E_G, E_B) vs. L_Y : (a) Preset, (b) Sun, (c) Auto.

度の互換性は保証されない。また、撮影の都度、その特性曲線が変化するため、カラーデザインを目的としたモデルとの合成用背景画像への使用は避けるべきである。

2.2 被照面の色度と輝度 L_Y

定輝度係数が異なるターゲットへの照射光の過不足が、被照面の色度を保証した輝度 L_C に及ぼす影響を検証するために、メタルハライドランプ・Preset・S (1/8)・F (7)、青・白・緑・赤色のターゲットを用いて議論する。

- (1) 定輝度係数が異なるターゲットの無彩色輝度 L_Y と輝度信号 E_Y の関係

図4に各ターゲットに対する E_Y と L_Y (cd/m^2) の関係を示

図4 輝度信号 E_Y vs. 輝度 L_Y 特性へのターゲットの色の影響
Influence of target color on characteristics of E_Y vs. L_Y .

図5 ビデオ信号 (E_R, E_G, E_B) vs. 輝度 L_Y へのターゲットの色の影響. (a) 青色, (b) 緑色, (c) 赤色.
Influence of each target color on characteristics of (E_R, E_G, E_B) vs. L_Y .

す。青と白の L_Y の差は極めて小さい。一方、赤と白の差は E_Y が100近傍までは、30%であるが、その後に増大し E_Y が200では、2.5倍に達する。誤差の要因としては、① L_Y が標準比視感度 $V(\lambda)$ および最大視感度 $K_M=683\text{lm}/\text{W}$ ($\lambda=555\text{nm}$) の関数であること、② 輝度計の分光応答特性が標準光源Aに対して $\pm 3\%$ 、青色4%、緑色2%、赤色10%であること、が考えられるが、緑、赤に対する充分な説明にはならない。したがって、この色度を保証できない L_Y を、カラーデザインに適用することは避ける必要がある。次項では、 E_G と E_R の L_Y に対する特性曲線の考察と、その対策を行う。

- (2) 定輝度係数が異なるターゲットの (E_R, E_G, E_B) の比を保証する輝度 L_C

図5 (a) ~ 図5 (c) に、ターゲットが青、緑、赤の場合の、 L_Y に対する (E_R, E_G, E_B) の関係を示す。これから以下のことがいえる。

- 白の色度を保証する輝度 L_C と (E_R, E_G, E_B) の関係は、測定条件がPreset、白紙ターゲットであることから、 $E_R=E_G=E_B$ (図3 (a)) であり、フルレンジの計測範囲を確保できる。
- 青の色度を保証する L_C (対数目盛り) に対応する (E_R, E_G, E_B) 信号曲線の平行領域は、図5 (a) に示すように、 $30\text{cd}/\text{m}^2$ から $160\text{cd}/\text{m}^2$ の範囲内では $L_Y \div L_C$ が成立する。両サイドでは、それぞれ E_R が下限、 E_B が上限に達しているにもかかわらず、図

4中の青と白の特性に大差がないのは、 E_B の E_Y への寄与率が11% (式 (1)) であることによる。

(c) 緑の色度を保証する L_C に対応する(E_R , E_G , E_B) 信号曲線の平行領域は、図5 (b) に示すように、 60cd/m^2 から 200cd/m^2 の範囲内で $L_Y \approx L_C$ が成立する。両サイドは、それぞれ E_R が下限、 E_G が上限に達している。 E_G の E_Y への寄与率が59%と大きいいため、図4において、高輝度で L_C が飽和するのに対して、低輝度ではほぼ白の L_C と平行を保ち、誤差も比較的小さい。

(d) 赤の色度を保証する L_C に対応する(E_R , E_G , E_B) 信号曲線の平行信号領域は、図5 (c) に示すように、 50cd/m^2 から 90cd/m^2 と、 $L_Y \approx L_C$ の適用範囲が極めて狭い。両サイドは、それぞれ E_B が下限、 E_R が上限に達している。 E_R の E_Y への寄与率が30%であるため、適用範囲外でも E_G の影響が大きく、これが、図4に示した適用範囲外の L_C の誤差が大きい原因となっている。

(e) これらは、長波長で彩度が高い色ほど、HDRの色度保持への配慮の必要性を示唆している。なお、理想的な単一スペクトルの色に対してはこの限りではない。

2.3 広範囲の輝度計測

太陽直達光・天空光の輝度および色度は、日中・日の出・日没、晴天・曇天時では、変化が非常に大きい。したがって、各設定状態において、式 (2) の L_Y だけではなく、連続な L_C を取得できる適切なシャッタ速度 $S(k)$ 、絞り $F(l)$ 、および複数枚のNDフィルタ $ND(m)$ の組合せを選択する必要がある。規準輝度 L_{Ysn} ($n=1, 2$) の撮影条件を $S(k=1/8)$ 、 $F(l=7)$ 、 $ND(m=\text{なし})$ にとり、これらの各倍率を A 、 B 、 C とすると、新しく求める輝度 L_{Ynew} との関係は、

$$L_{Ynew} = A \cdot B \cdot C \cdot L_{Ysn} \quad (3)$$

で表せる。図3、図4に示すように、定輝度係数が1の白色の場合は、1回の撮影で広範な輝度計測が可能であるが、彩度の高い色に対しては、露出間隔を小さく撮る必要がある。

一例として、色度保証範囲の狭い、2.2 (2) (d) で議論したターゲットが赤の場合について考察する。

図6の撮影条件を表1に示す。 $S(1/8)$ の場合、輝度 50cd/m^2 に対して適正露光であり、表1に示すように、 $E_R : E_G : E_B = 6.7 : 1.5 : 1.0$ である (図6 (b))。

輝度 20cd/m^2 の場合は露光不足となり、表1 (a) に示すように、 $E_R : E_G : E_B = 15 : 1.6 : 1.0$ で、赤が強くなる (図6 (a))。

輝度 200cd/m^2 に対して露光過度の図6 (c) では、 $E_R : E_G : E_B = 2.1 : 1.1 : 1.0$ となり、赤が飽和し、 E_Y の飽和輝度が約 600cd/m^2 (図4) で充分余裕があるにもかかわらず、色度を保証できない。

図6 (d) は、シャッタ速度が図6 (a) の1.9倍で、輝度が2倍のときの映像である。表1 (d) に示すように、 $E_R : E_G : E_B = 6.9 : 1.5 : 1.0$ であり、色度を保っていることを示している。

表1 図6の撮影条件とビデオ信号 (E_R, E_G, E_B) vs. 輝度 L_Y
Photographing conditions of Figure 6 and their (E_R, E_G, E_B) & L_Y .

	(a)	(b)	(c)	(d)
$L_Y (\text{cd/m}^2)$	20	50	200	100
S	1/8	1/8	1/8	1/15
E_R	116	196	255	201
E_G	13	43	135	44
E_B	8	29	119	29

これらの結果は、カラーデザイン用の背景映像のHDRには、被照面の定輝度係数が1に近い場合以外は、(E_R, E_G, E_B) 別輝度 L_C が重要な役割を持つことを示唆している。

3. 全天空光の (E_R, E_G, E_B) 別輝度分布計

(E_R, E_G, E_B) 信号別全天空光入射輝度を迅速かつ高精度で取得する際の問題点として、以下の点が挙げられる。

- (1) 入射光の輝度分布のレンジが極めて大きいこと、すなわち、晴天時における天頂の太陽直達光は約 10^9cd/m^2 以上、その時の太陽周辺を除く天空光の輝度は約 10^3cd/m^2 ¹³⁾であり、地上からの反射光は一般に天空光のそれより低く、完全晴天時の太陽直達光は全体の85%以上に達する。完全曇天時の天空光の輝度差は一桁以下で、定輝度係数は1に近い。一方、晴天・朝焼け・夕焼け時の太陽直達光および天空光の輝度と色度の精度は、カラーデザイン用レンダリング結果に多大な影響をおよぼす。
- (2) 使用魚眼レンズカメラの立体角は 183° 、撮影画像の円の直径は1,430ピクセル、太陽の立体角は $32'$ 、正投影による直径は4,167ピクセルで、太陽と魚眼レンズの正投影による後者の比は、僅か0.3%と極めて小さい。
- (3) 魚眼レンズのヴィネッティング (使用レンズのF7の減衰率: 5% (70°), 8% (85°), 25% (90°)), レンズの中心を外れた高輝度光源のプリズム効果 (図7 (d), 図7 (e)) による色度への影響、レンズ歪み (図7 (b), 図7 (c)) による天空輝度分布への影響についても、日の出、日没時等時刻・気象条件に対応した撮影法を確立する必要がある。

3.1 撮影方法

上述の問題点を解消するための撮影手法の概容を、晴天時の一例を使用して説明する。

- (1) 短時間に露出の異なる複数枚の写真を素早く撮影できるように、手持ちの柄付きNDフィルタ (6枚) の組合せを用意し、太陽の近傍を覆い撮影する (図7 (a))。
- (2) ホワイトバランスは、PresetまたはSunを使用する (2.1 (2))。
- (3) ヴィネッティングとレンズ歪み (図7 (b), 図7 (c)), プリズム効果の影響を最小限に留めるため、カメラの絞り値は、最大露出に支障を生じない範囲で、最大絞り (本例: F7) に設定し、特に太陽直達光が照射する場合のカメラの撮影方向は、高輝度の直達光を

図8 天空光写真と輝度分布（擬似カラー）
Photographs of skylight and their luminance distribution (pseudo color) .

図6 ターゲットの色と輝度信号 E_y の関係
Relations between E_y and target color.

高精度で取得するため、太陽の方向とその逆方向にセットする．曇天時には、最大輝度の天頂方向とその逆方向に向ける．

3.2 太陽直達光の測定による高輝度に対する (E_R , E_G , E_B) 別輝度計の校正

太陽の立体角 $32'$ に対して、輝度計の測定立体角は 1° である．輝度計の測定値 L_{YL} は平均輝度であるから、その測定面積 S_L と太陽の面積 S_S を使用して、太陽の輝度 L_{Ysun} を求める必要がある．図8 (d) に示すように、太陽の魚眼レンズ内に占めるピクセル数は数ピクセルであり、式 (3) で求めた太陽周辺のピクセルの平均輝度を L_{YC} 、太陽内のピクセルの平均輝度を L_{YS} とすると、 $L_{YS} \gg L_{YC}$ である．したがって、太陽および輝度計の円周と交差しない、各領域内の完全形状ピクセルの平均輝度を使用して太陽の輝度 L_{Ysun} を求める．

$$L_{YS} = \{(\text{完全形状ピクセル}) \cap (\text{太陽の立体角内のピクセル})\} \text{の平均輝度}$$

$$L_{YC} = \{(\text{完全形状ピクセル}) \cap \{(\text{輝度計の立体角内のピクセル}) - (\text{太陽の立体角内のピクセル})\}\} \text{の平均輝度}$$

図7 天空光撮影
(a) 撮影装置, (b), (c) レンズ歪みと撮影方向, (d), (e) プリズム効果
Photographing skylight.
(a) devices, (b) and (c) lens distortion, (d) and (e) prism effects.

図9 提案手法 (図8 (a)) と従来法の天空輝度分布の差分 (太陽近傍拡大)
Difference of luminance distributions between proposed method (Fig. 8 (a)) and traditional method (magnified view around the sun) .

表2 図8の撮影条件
Conditions for photographing of figure 8.

	(a)	(b)	(c)	(d)
S	1/500	1/1,000	1/1,000	1/1,000
F	7	7	7	7
ND	—	10 ^{1.5}	10 ²	10 ^{3.5}

すなわち, L_{Ysun} は, 次式から得られる.

$$L_{Ysun} = L_{YL} \cdot (S_S \cdot L_{YS} + (S_L - S_S) \cdot L_{YC}) / S_S \cdot L_{YS} \quad (4)$$

輝度計による太陽の測定値 L_{Ysun} は $2.86 \times 10^8 \text{cd/m}^2$ であり, 式 (3) から求めた輝度は $3.025 \times 10^8 \text{cd/m}^2$ である. すなわち, 前者を真値とすると, その誤差は約5%である.

3.3 簡易輝度計による天空光計測

較正後の簡易 (E_R , E_G , E_B) 別輝度分布計を使用して測定した14枚の映像 (1月31日15時7分東経132度21分, 北緯34度22分) の一部と (E_R , E_G , E_B) の色度を保証した輝度 L_C によって求めた擬似カラー天空輝度分布を図8に示し, 撮影条件を表2に示す. 上段は映像とその拡大図を, 下段は, 擬似カラー天空輝度分布を示す. なお, 1枚の計測時間は8秒で, 全体の撮影時間は約2分弱である.

色度を保証した輝度 L_C の天空輝度分布図8 (e) と, 無彩色輝度 L_Y のみに着目して求めた従来のHDR法による天空輝度分布 (撮影枚数6枚) の差を示す擬似カラー天空輝度分布を, 図9に示す (図中の白色部は両者の差が零の領域).

これらの図は, 提案手法による輝度計が, 広いレンジの輝度と色差を持った太陽直達光を含む天空光を, 高精度で計測するのに極めて有効なことを示している.

4. 結論と今後の課題

本論文では, 屋外工業製品のカラーデザインに, 設計モデルとその背景映像の合成用法を活用する場合の, CGに使用する光源の輝度計測法の提案を行い, 有効性を示した.

①背景撮影時の太陽直達光および天空光の色度別輝度を簡易かつ迅速に取得する撮影法, ②室内実験による正確な色度情報を得るためのビデオ信号 (E_R , E_G , E_B) 別輝度の取得法を検証, ③太陽直達光による広範囲の輝度分布に対応するための較正法の確立, ④魚眼レンズのビネッティングおよびプリズム効果を考慮した撮影法, および晴天時の天空光分布の適用例.

今後の課題としては, 以下のことが考えられる.

- (1) 提案した光源を使用したHDRによる適用例の作成
- (2) 夜間のネオンサイン・舞台等の単色光に近い複合光源に対する検証および適用例の作成

最後に, 本論文の執筆に当たり, 適切なお助言を戴いた広島工業大学環境デザイン学科三好孝治助教授, 実験・データ処理に協力いただいた同大学大学院電子工学専攻の鈴木義史君に深く感謝いたします.

〔文 献〕

- 1) P. Debevec and J. Malik: "Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs", Computer Graphics Proc., Annual Conference Series, pp.369-378 (1997)
- 2) P. Debevec: "Rendering Synthetic Objects into Real Scenes: Bridging Traditional and Image-based Graphics with Global Illumination and High Dynamic Range Photography", Computer Graphics Proc., Annual Conference Series, pp.189-198 (1998)
- 3) J. Unger, A. Wenger, T. Hawkins, A. Gardner and P. Debevec, "Capturing and Rendering with Incident Light Fields", Eurographics Symposium on Rendering 2003, pp.1-10 (2003)
- 4) I. Sato, Y. Sato and K. Ikeuchi, "Acquiring a Radiance Onto a Real Scene", IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics, 5, 1, pp. 1-12 (1999)
- 5) J. Stumpel, A. Jones, A. Wenger and P. Debevec: "Direct HDR Capture of the Sun and Sky", 3rd International Conference on Virtual Reality, Computer Graphics, Visualization and Interaction in Africa, pp.132-138 (2004)
- 6) X. Qin, E. Nakamae and K.Tadamura: "Automatically Compositing Still Images and Landscape Video Sequences", IEEE Computer Graphics and Applications, 22, 1, pp.68-78 (2002)
- 7) CIE: "Natural Daylight, Official Recommendation, Compute Rendu CIE 13th Session, Committee", E-3.2, II, part 3-2 II-IV&35-37 (1955)
- 8) CIE: "Spatial Distribution of Daylight-Overcast Sky and Clear Sky", Pub., CIE 003.2 (1994)
- 9) R. Perez, R. Seals and J. Michalsky: "All-Weather Model for Sky Luminance Distribution - Preliminary Configuration and Validation", Solar Energy, 50, 3, pp.235-245 (1993)
- 10) 井川憲男, 中村洋, 松沢朋子, 古賀靖子: "標準天空としてのAll Sky Modelの提案-第1報 天空輝度分布の測定, データの整備, 天空輝度分布の指標-", 照明学会誌, 85, 2, pp131-141 (2001)
- 11) N. Igawa, H. Nakamura, T. Matsuzawa and Y. Koga: "All Sky Model as a Standard Sky Luminance Distribution - Part 2 a Numerical Expression of Sky Luminance Distributions for All Sky Conditions -", J. Light & Vis. Env., 27, 1, pp.16-26 (2003)
- 12) T. Takagi, H. Takaoka, T. Ohshima and Y. Ogata, "Accurate Rendering Technique Based on Colorimetric Conception", Computer Graphics, 24, 4, pp.263-272 (1990)
- 13) 日本色彩学会編: "色彩科学ハンドブック [第2版]", 東京大学出版会 (1998)

永井 康雄 1965年, 芝浦工業大学工学部電子工学科卒業. 同年, 広島工業大学工学部電気工学科助手. 現在, 同大学助教授. 3次元CG, 動画のモンタージュに関する研究に従事. 正会員.

多田村 克己 1986年, 広島大学大学院工学研究科博士課程前期修了. 同年, (株)日立製作所入社. 1991年, 広島県立大学経営学部経営情報学科助手. 1996年, 同講師. 1998年, 山口大学工学部感性デザイン工学科助教授. 2004年, 同教授. 3次元CGに関する研究に従事. 博士(工学).

秦 学英 1988年, 北京大学数学科卒. 1991年, 浙江大学CAD&CG研究所修士課程修了. 同年, 中国科学院成都計算機技術研究所研究助手. 1995年, (株)三英技研入社. 2003年, 浙江大学CAD&CG研究所助教授. 3次元CGに関するソフトウェア開発・研究に従事. 博士(工学).

中前 栄八郎 1956年, 早稲田大学大学院工学研究科修士課程修了. 同年, 広島大学工学部電気工学科助手. 1968年, 同教授. 1992年, 広島県立大学経営学部教授. 1996年, 広島工業大学工学部教授. 1999年, (株)三英技研会長. 3次元CG, SVに関する研究に従事. 工学博士. 正会員.