

3DCG シミュレーションを用いた人工芝ピクセルの階調評価手法

水野 暁斗^{1,a)} 田中 康二郎¹ 加藤 優一¹ 加藤 虎之介¹ 三河 正彦² 藤澤 誠²

概要:我々は自然景観に配慮した人工芝を用いたディスプレイ及びその基礎部分となるピクセルの研究を進めている。人工芝ピクセルの階調評価の実験を行なっているが、光源やカメラの位置、ピクセルを構成する芝生の色を変更した際の環境を全て用意することは困難である。そこで、本研究では人工芝ピクセルを Computer Graphics(CG) 上にて再現し、これを現実における評価の代替とすることで様々な条件に対応した階調評価を行なうことを目的とする。本稿では CG 上にて再現した人工芝ピクセルが現実の評価の代替となるかを確認するため、現実の人工芝ピクセルとの色と階調の比較を色差 ΔE_{00} に基づいて行なった。

1. はじめに

我々は自然景観に配慮した新しいデジタルサイネージの手法として人工芝を用いたディスプレイの研究を行なっている。人工芝ディスプレイは図 1 に示すように、高さが固定された黄色芝と高さが変化する緑色芝によって動的に色を表現する人工芝ピクセル [1][2][3] から構成される。ディスプレイ性能の 1 つである階調表現の定量的評価を進めている [3] が、環境光や撮影位置等の様々な環境下における評価手法の効率化が課題である。そこで本研究では、3DCG で再現した人工芝ピクセルを用いた評価手法を提案する。本稿では人工芝ピクセル、撮影位置、環境光を含めた評価環境を CG で再現した画像と、実環境下で撮影した人工芝ピクセルの画像の色差に基づく評価を行なう。

2. 人工芝ピクセルの CG モデル

作成した人工芝ピクセルの CG モデルを図 2 に示す。これは図 1 に示す人工芝ピクセルの試作機と同じ寸法で、黄色芝の高さは 10.0[mm]、緑色芝の高さは 0[mm] から 15.0[mm] に変化させられる。

CG の環境光には実世界の環境光を正確に再現可能とされる High Dynamic Range Image(HDRI)[4] を利用した。

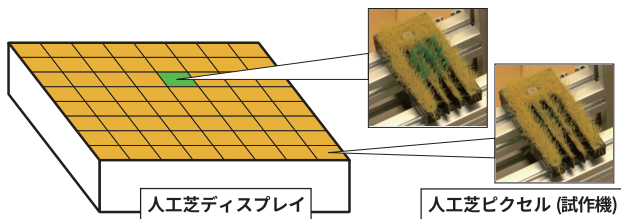


図 1 人工芝ディスプレイと人工芝ピクセルの関係

3. 評価実験

3.1 実験内容

本稿では CG と現実の人工芝ピクセルの緑色芝の高さ l を 0[mm] から 15.0[mm] まで 0.75[mm] ずつ変化させ、次の 2 点についての評価を行なう。

(1) レンダリングした CG 画像と現実の人工芝ピクセルを撮影した画像との緑色芝の高さにおける色差の比較。

(2) CG 上で再現した人工芝ピクセルが緑色芝の高さの変化によって表現可能な階調。

色差には International Commission on Illumination(CIE) が定義する CIEDE2000(ΔE_{00}^*) を使用した。Committee for Graphic Arts Technologies Standards[5] によると $\Delta E_{00}^* \leq 3.0$ が人間の知覚特性を反映させた ΔE_{00}^* において厳格な色許容差と定義されているため、色差の基準には 3.0 を用いた。(1) において、CG と現実が $\Delta E_{00}^* \leq 3.0$ を満たすなら、現実の人工芝ピクセルと CG 上で再現した人工芝ピクセルが人間の知覚において類似していると評価できる。(2) において、今回は 5 段階の階調についての評価を行なう。1 段階目の階調 G_1 を $l=0$ [mm] とし、5 段階目の階調 G_5 が $l=15.0$ [mm] となるように G_n ($n=1, 2, 3, 4, 5$) を G_1 と G_5 の直線上に定める。階調を表現するためには各階調間が $\Delta E_{00}^* \geq 3.0$ であり、かつ各 G_n から $\Delta E_{00}^* \leq 3.0$ に人工芝ピクセルの実測値が存在する必要がある [3]。

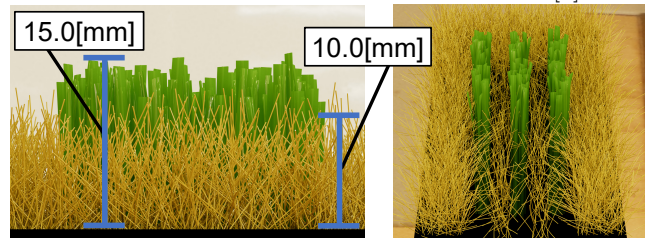


図 2 CG にて再現した人工芝ピクセルの形状

¹ 筑波大学大学院 人間総合科学学術院

² 筑波大学 図書館情報メディア系

^{a)} s2221671@s.tsukuba.ac.jp

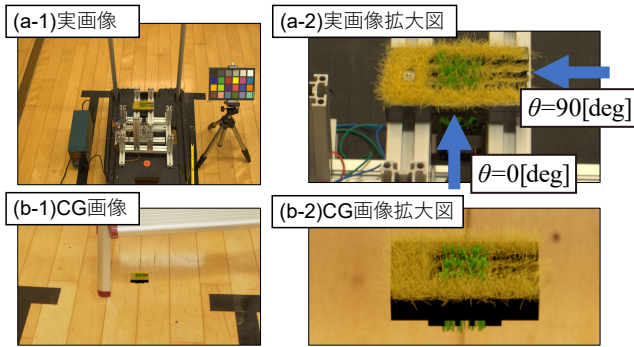


図 3 CG 画像と実画像

3.2 実験環境

屋内環境にて撮影位置をカメラと人工芝ピクセルとの距離 d , カメラの高さ h について $d = 3.0[\text{m}]$, $h = 1.2[\text{m}]$ とし, カメラと人工芝ピクセル間の水平角 θ を $\theta = (0, 30, 60, 90[\text{deg}])$ と定め, 現実の人工芝ピクセルを実画像として撮影した. 撮影した画像を図 3(a-1) に示す.

CG の環境光として, 実環境を全天球カメラ Ricoh Theta Z1 を用いて異なる露出で撮影し. これを各 RGB が 32bit 階調で表現される HDRI として合成したものを用いた. 人工芝ピクセルにおける, 人工芝の拡散色を $d = 3.0[\text{m}]$, $h = 1.2[\text{m}]$, $\theta = 0[\text{deg}]$ の撮影位置において, 黄色芝は 1 段階目の階調, 緑色芝は 5 段階目の階調の CG 画像と実画像の色が一致するように設定した. 環境光, 人工芝ピクセル, 現実の撮影位置を再現し, CG 画像としてレンダリングした. 出力された画像を図 3(b-1) に示す.

本実験では 3DCG ソフトには Houdini Education (Side Effects Software Inc.), レンダラーには Redshift (Maxon Computer Inc.) を使用した. なお, PC には Windows 10 Home, Intel Core i7-8700 CPU @3.20GHz, NVIDIA GeForce RTX 2060 SUPER を使用した.

3.3 実験結果及び考察

実験 (1) の結果として表 1 に各 θ の色差の最小, 最大, 平均値を示す. また, 図 4 に ΔE_{00}^* の最大値が 3.0 未満の例として $\theta = 0[\text{deg}]$, 3.0 以上の例として $\theta = 90[\text{deg}]$ における, l を $0[\text{mm}]$ から $15.0[\text{mm}]$ まで $0.75[\text{mm}]$ ずつ動かした際の CG 画像, 実画像のそれぞれの色を $L^*a^*b^*$ 空間上にプロットしたものを示す. バツ印は CG 画像, 丸印は実画像の色の推移を表している. 表 1 より $\theta = (0, 30[\text{deg}])$ では全ての緑色芝の高さにおいて CG 画像と実画像が $\Delta E_{00}^* \leq 3.0$ を満たしているが $\theta = (60, 90[\text{deg}])$ では満たさず, 更に図 4(b) から $\theta = 90[\text{deg}]$ では色の推移が現実と CG で異なっており, この結果は θ の影響によるものと考えられる.

実験 (2) の結果として図 5 に $\theta = 0[\text{deg}]$ での CG と現実の人工芝ピクセルについて階調評価を行なった結果を示す. グラフ中の G_n は各階調を示し, 青色の範囲は各 G_n から $\Delta E_{00}^* \leq 3.0$ の色許容範囲を表している. 図 5 より, CG と現実共に各階調 G_n は互いの色許容範囲に含まれず,

表 1 CG と実画像の色差 ΔE_{00}^* の最小, 最大, 平均値

θ [deg]	最小値	最大値	平均値
0	0.216	2.21	1.07
30	0.790	1.68	1.21
60	3.82	6.74	5.11
90	2.10	6.96	4.58

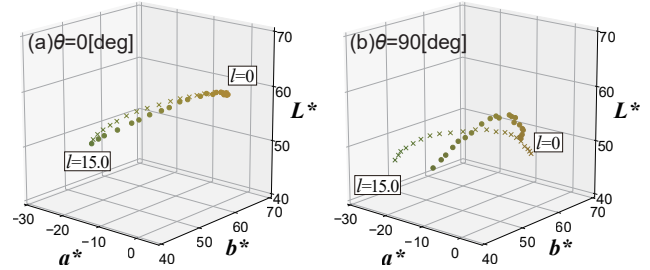


図 4 $L^*a^*b^*$ 空間上における観測されたピクセルの色の実測値

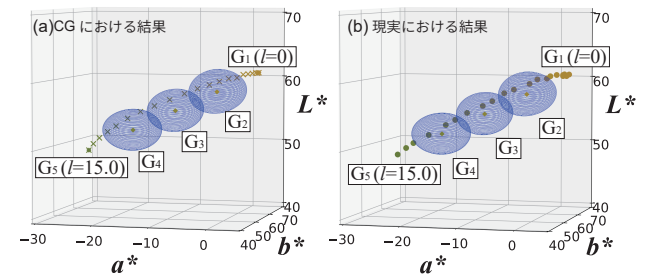


図 5 階調評価の結果

また各階調の許容範囲に実測値が存在するため CG も現実と同様に階調を表現できていると考えられる.

4. おわりに

本稿では 3DCG を用いた人工芝ピクセルの評価手法を提案した. 再現した CG をレンダリングした画像と現実の人工芝ピクセルを撮影した画像を ΔE_{00}^* に基づき比較し, $\theta = (0, 30[\text{deg}])$ で $\Delta E_{00}^* \leq 3.0$ を満たしていること, また, $\theta = 0[\text{deg}]$ では 5 段階の階調表現が可能であることを確認した. 今後の課題として, 様々な環境下での CG に再現した人工芝ピクセルと現実の人工芝ピクセルとの色差の評価及び階調表現の評価が挙げられる.

謝辞 本研究は, JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2124 の支援を受けたものである.

参考文献

- [1] 田中ら, “芝生アートにおける濃淡映像表示技術”, 映像表現・芸術科学フォーラム 2021, (2021 年).
- [2] Tanaka et al.: Natural Landscape-Friendly Animation Display Technique Using Shape-Changing Artificial Grass System, *2021 IEEE SMC*, pp. 2549–2554 (2021).
- [3] Tanaka et al.: Dynamic Grass Color Scale Display Technique Based on Grass Length for Green Landscape-Friendly Animation Display, *arXiv:2203.08496* (2022).
- [4] Reinhard et al.: 09 - Image-based Lighting, *High Dynamic Range Imaging*, The Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics, Morgan Kaufmann, pp. 367–462 (2006).
- [5] ANSI/Committee for Graphic Arts Technologies Standards (CGATS), CGATS TR 016-2014 Graphic technology-Printing Tolerance and Conformity Assessment, Technical report (2014).