

論文

# DLP プロジェクタの高効率・高精度な投影色キャリブレーション

## Highly Efficient and Accurate Color Calibration for DLP Projector

学生会員 能勢将樹<sup>†1, †3</sup>, 馬 菁野<sup>†2</sup>, 長谷川史裕<sup>†3</sup>, 正会員 内川 恵二<sup>†1</sup>  
 Masaki Nose<sup>†1, †3</sup>, Jinie Ma<sup>†2</sup>, Fumihiko Hasegawa<sup>†3</sup> and Keiji Uchikawa<sup>†1</sup>

あらまし 小型軽量や高耐久性などに優れる DLP (Digital Light Processing) プロジェクタの残課題の一つに投影色の個体差がある。今般、投影色の個体差を短時間かつ高精度、さらにコストアップなく補正できる新たな手法を開発した。DLP プロジェクタには CCA (Color Coordinate Adjustment) やその他の色補正機能が一般的に使用されているが、異なるアプローチを用い、白色の現状色度と目標色度のみをパラメータとする独自の補正シーケンスを開発した。本手法を適用した結果、色温度の目標値に対する精度を 100K 以内に抑えることも可能となり、既存の色補正機能を大きく上回る補正精度を実現した。本手法は専用メモリーも必要とせず、プロジェクタの CPU で簡易に実行できるため、コストアップなく容易に実装できる。

キーワード：DLP プロジェクタ、個体差、色温度、輝度、補正、主観評価

### 1. ま え が き

DLP (Digital Light Processing) <sup>TM</sup> プロジェクタが液晶プロジェクタと並んで用いられている。DLP プロジェクタの特長として、小型軽量、焼付きや色褪せなどの経年変化が極めて小さい高耐久性、色ムラが小さい均一性、高いコントラストなどが挙げられる。

DLP プロジェクタは米国の Texas Instruments 社 (以降、TI 社と略す) が DMD (Digital Mirror Device) の発明を中心として開発した。DLP プロジェクタの内部構造を図 1 に示す。ランプ光源からの白色光は高速に回転するカラーホイールを通じて各色光に時分割され、各原色が有する映像情報に応じて ON/OFF する DMD が当該色光を反射する<sup>1)</sup>。

DLP プロジェクタはカラーフィールドの時分割駆動であるため、光利用効率は液晶プロジェクタより低くなる。そのため、シアン、マゼンタ、イエロー、ひいては白色までの 2 次色・3 次色を用いた多原色によって輝度や彩度を向上する手法が TI 社より提案され、Brilliant Color<sup>TM</sup> と称されている<sup>2)~4)</sup>。多原色を用いたカラーホイールの例を図 2 に示す。

RGB3 原色の入力映像から多原色の出力映像に変換するアルゴリズムは TI 社独自のノウハウを有し、プロジェクタのベンダーにはブラックボックスである。

DLP プロジェクタの残課題の一つに、構成部品のロット差などに起因する投影色の個体差がある。投影色の個体差は単体での投影では問題にならないものの、プロジェク

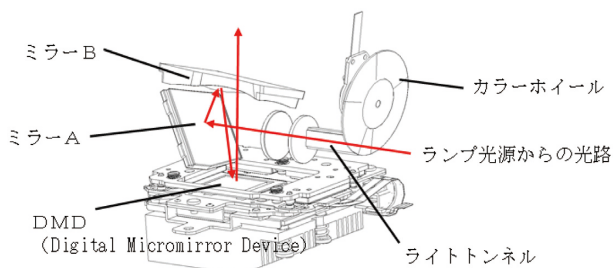


図1 DLP プロジェクタの内部構造

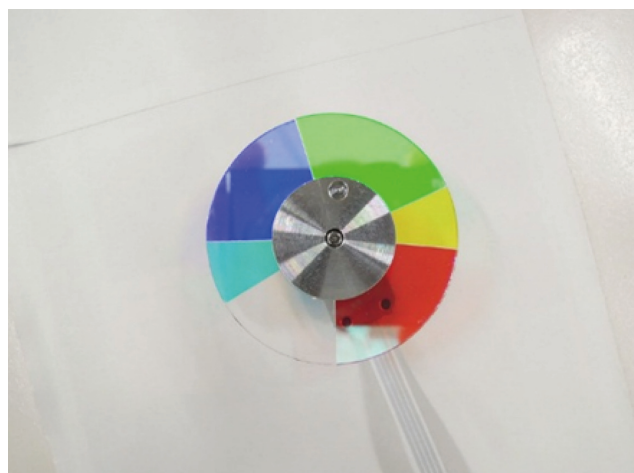


図2 カラーホイールの例

2015年9月3日受付, 2015年11月11日再受付, 2016年1月7日採録

†1 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 物理情報システム専攻  
 (〒 226-8502 横浜市緑区長津田町 4259-G2-1, TEL 045-924-5453)

†2 株式会社リコー ビジネスソリューションズ事業本部 VC 設計センター  
 (〒 222-8530 横浜市港北区新横浜 3-2-3, TEL 050-3814-7063)

†3 株式会社リコー リコー ICT 研究所 システム研究センター  
 (〒 224-0035 横浜市都筑区新栄町 16-1, TEL 050-3817-4353)

ションマッピングなどで利用場面が増加しているマルチプロジェクションで目立ち、品位を損ねるケースが生じる。各プロジェクタの投影像をシームレスに繋げる手法は多く提案されている<sup>5)~7)</sup>が、個体差そのものが縮小されていない場合は目立つケースが残る。プロジェクションマッピングの台頭により、個体差の縮小に関する要望が一段と高まっているのが現状である。

DLP プロジェクタの個体差を抑制し、安定した色再現を実現する手法として、ICC プロファイルと同様に入力値と出力値の一対一の対応関係をルックアップテーブルとし、個体差の補正に用いる方法が開示されている<sup>8)9)</sup>。その手法では正確な色合わせが実現可能なものの、大規模なルックアップテーブルを生成する長いタクトタイムが必要となり、量産工程には適さない。加えて、メモリー増設などでコストアップの要因にもなる。

TI社からはDLP Composer<sup>TM</sup>というDLP プロジェクタを動作させるための設定と、DMD 駆動、カラーホイールの回転制御、全体制御、ユーザインタフェースなどのすべてのソフト(バイナリーファイル)を統合してファームウェアを作成する開発ワークベンチが提供され、その中にはCCA (Color Coordinate Adjustment) やBC Lookと呼ばれる色補正機能が具備されている。CCA では各原色の色度や輝度のバランスを任意に設定できるが、マルチプロジェクションで気にならない個体差に縮小するには、さらに高い精度の補正手段が望まれていた。

そのような状況を鑑み、DLP プロジェクタの投影色をさらに高精度に補正できる新たな手法を検討した。個体差を高精度に補正できることに加え、構成部品の追加なく量産工程に容易に組み入れられることも重要な要件となる。

その要件を満たすために、DLP プロジェクタの個体差を詳細に評価したうえで、補正対象を色温度に絞込んだ。その後、色温度の個体差を縮小する独自の技術を開発し、構成部品の追加なく良好な改善効果も実証した。

本稿では、2章に開発手順、3章に結果と考察、4章に結論をまとめる。

## 2. 開発手順

### 2.1 個体差の把握

DLP プロジェクタの個体差を全般的に評価し、補正アプローチの参考とした。評価に用いた機種はリコー社のRICOH PJ WX4141Nである。

RGB および白色の個体差を例示する。RGB の色度(図3)は個体差が小さいが、白色つまり色温度の個体差は比較的大きい。RGB の最大輝度を図4に示す。相違をわかりやすくするため、プロジェクタCのRGBの最大輝度を基準として、プロジェクタAおよびBのRGBの最大輝度を正規化している。RGBの最大輝度の相違が白色の個体差の主因として考えられ、図2のような多原色の場合、シアンやイエローの最大輝度も影響する。この傾向は数千台レベルの量

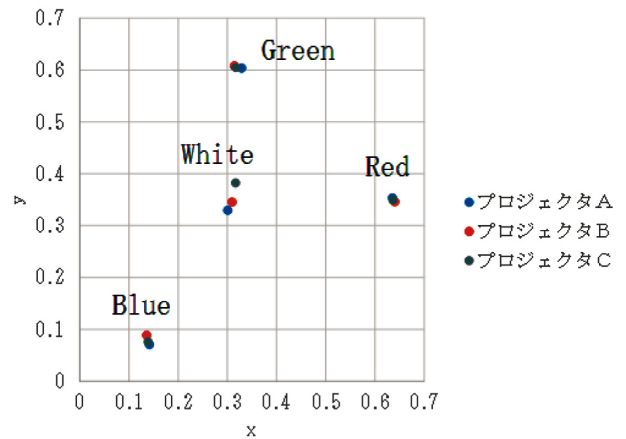


図3 RGBおよび白色の個体差(xy色度)

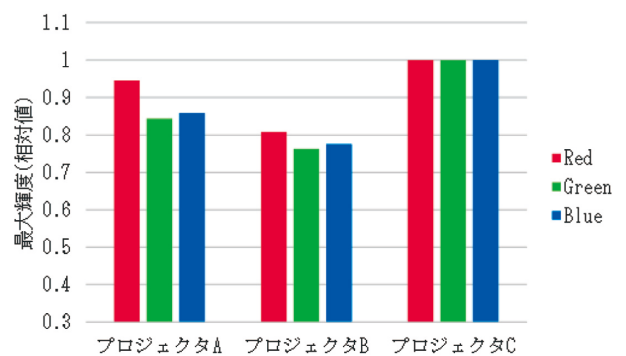


図4 RGBの個体差(最大輝度)

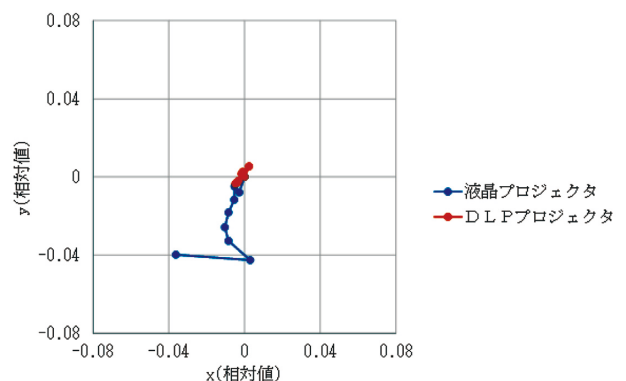


図5 DLP プロジェクタと液晶プロジェクタのグレーバランス

産時でも同様である。

次に、ハイライトからシャドウまでのグレーバランスを図5に示す。参考として液晶プロジェクタ(リコー社のIPSiO PJ WX5350N)を併記する。DLP プロジェクタはグレーバランスが極めて安定しているため、グレーバランスは今回の補正の対象外とした。

また、ガンマカーブの個体差も極めて小さいことが判り、これらの特性に基づき、補正対象を色温度に絞った。

### 2.2 補正コンセプト

DLP プロジェクタの個体差を既存の色補正機能よりも高

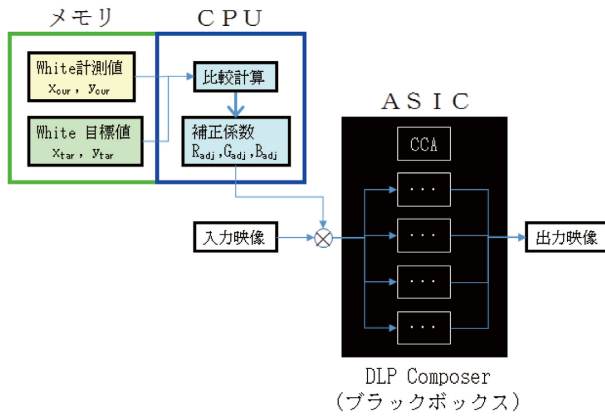


図6 本手法の処理構成

精度、さらにコストアップなく補正する方策として、新たな画像処理部の追加を試み、CCAを上回る性能の実現性を検証した。本手法の処理構成を図6に示す。CCAを筆頭としたDLP Composerの諸機能はASICに格納されている。

本手法では白色の現状色度と目標色度という最小限の情報をパラメータとするため、短いリードタイムでの運用が可能となる。本手法を適用する際、CCAは無効にする。

また、補正処理はプロジェクタのCPUで容易に実行し、専用メモリーの追加も不要となるため、コストアップなく実装できるようになる。

### 2.3 補正シーケンス

白色の現状色度と目標色度を入力し、現状色度から目標色度に向けて投影像の色温度の補正を実行する。この手順はCCAも同じである。この際、暗室での環境下を前提とする。

最初に、白色の現状と目標の  $(x, y)$  色度をそれぞれ式(1)～(3)を用いて  $(X, Y, Z)$  三刺激値に変換する。この際、明度の  $Y$  は暫定的に1とする。本手法では、Brilliant ColorなどDLP Composerの内部アルゴリズムの影響を受ける未知(unknown)の固有値  $(X_{UKWN}, Y_{UKWN}, Z_{UKWN})$  を  $(X, Y, Z)$  に同時に加える。

$$Y = 1 + Y_{UKWN} \tag{1}$$

$$X = Y \times x / y + X_{UKWN} \tag{2}$$

$$Z = Y \times (1 - x - y) / y + Z_{UKWN} \tag{3}$$

次に、式(4)により、白色の現状と目標それぞれの  $(X, Y, Z)$  を  $(R, G, B)$  信号レベル(0～1)に逆変換する。 $M$ は  $(R, G, B)$  信号レベルを  $(X, Y, Z)$  三刺激値に変換する際の  $3 \times 3$  マトリックスであり、 $M^{-1}$ はその逆行列となる。例えば、DLPプロジェクタがsRGBに準拠している場合には、それに該当する係数を用いる。

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = M^{-1} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \tag{4}$$

式(4)で算出された現状(current)と目標(target)の  $(R, G, B)$  をそれぞれ  $(R_{cur}, G_{cur}, B_{cur})$ ,  $(R_{tar}, G_{tar}, B_{tar})$  とし、式(5)の変換を行うことで、現状値  $(R_{cur}, G_{cur}, B_{cur})$  に対する目標値  $(R_{tar}, G_{tar}, B_{tar})$  の仮の信号比  $(R_{tmp}, G_{tmp}, B_{tmp})$  を求める。

$$\begin{pmatrix} R_{tmp} \\ G_{tmp} \\ B_{tmp} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{tar} & 0 & 0 \\ 0 & G_{tar} & 0 \\ 0 & 0 & B_{tar} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1/R_{cur} \\ 1/G_{cur} \\ 1/B_{cur} \end{pmatrix} \tag{5}$$

仮の信号比  $(R_{tmp}, G_{tmp}, B_{tmp})$  は場合によって1を超えたり、あるいは小さな値になるため、そのまま映像信号に乗算すると丸め誤差や輝度の過剰な低下が生じる。それらを回避するため、以下に示す規格化を施す。

まず、式(6)により、仮の信号比  $(R_{tmp}, G_{tmp}, B_{tmp})$  の三つのうち最大値となる  $RGB_{max}$  を求める。

$$RGB_{max} = \max(R_{tmp}, G_{tmp}, B_{tmp}) \tag{6}$$

さらに、式(7)のように、仮の信号比  $(R_{tmp}, G_{tmp}, B_{tmp})$  に  $RGB_{max}$  の逆数を乗算し、最終的な信号比  $(R_{adj}, G_{adj}, B_{adj})$  を導出する。これにより、信号比が0～1の範囲に規格化され、目標色度へ変換した際の輝度の低下も最小限になる。

$$\begin{pmatrix} R_{adj} \\ G_{adj} \\ B_{adj} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{tmp} \\ G_{tmp} \\ B_{tmp} \end{pmatrix} \times 1/RGB_{max} \tag{7}$$

以上のシーケンスから導出した信号比  $(R_{adj}, G_{adj}, B_{adj})$  が目的とする補正係数となり、入力された映像信号に乗算する。

式(1)～(3)に示した固有値  $(X_{UKWN}, Y_{UKWN}, Z_{UKWN})$  はブラックボックスなパラメータであるため、図7に示す手順により、測定とフィードバックを重ねた最適化を行う。最初の固有値は暫定的に0とし、その際の補正精度をベ-

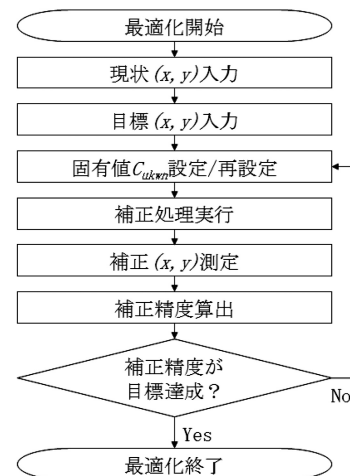


図7 本手法の測定とフィードバック

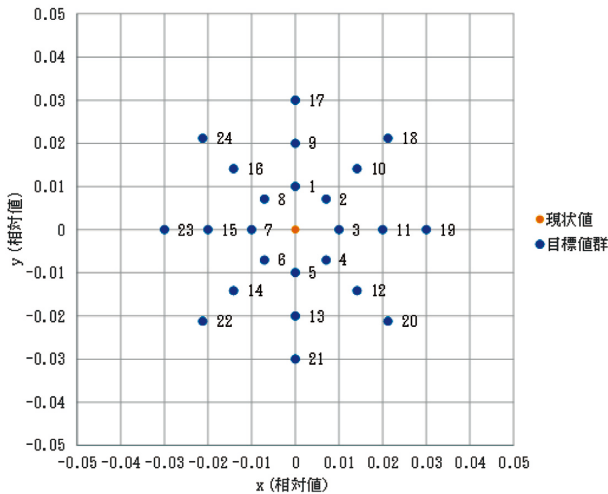


図8 本評価に用いた色度分布

スとして固有値の再設定と測定を繰り返す。目標とする xy 色度への補正が不足した場合には固有値を小さく、過補正の場合には固有値を大きくする手順で最適範囲を絞る。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 補正精度および従来手法との比較

本手法による補正精度および従来手法との比較を行った。図8に示すようにさまざまな個体差を想定し、1~24番を目標とする白色の xy 色度、その中心を現状の白色の xy 色度として、各目標色度に対する補正精度を評価した。図8は各色度を相対値で示している。評価には目標値と補正値の u'v' 色度上の色差 ( $\Delta u'v'$ ) と相関色温度の差分 ( $\Delta K$ ) を使用した。補正精度の目標は、白色 LED などでも個体差や経年変化の基準として多く用いられる  $\Delta u'v' < 0.003$  を目安とした。

本実験に用いた DLP プロジェクタは以下の各 1 台とした。測定には 2 次元色彩輝度計 CA-2000 (コニカミノルタ社) を用い、投影面全域 (2 次元) の測定値 (サンプリング数は約 10 万) を平均化して評価した。多くのサンプリング数の一括測定により、色彩照度計などを用いた多点 (5 点や 9 点など) 測定よりも高精度かつ簡便に評価できる。

- ・ PJ-A : 基準用試作機 (3 原色)
- ・ PJ-B : RICOH PJ WX4141 N (6 原色)

まず、基準とした PJ-A での実験結果を図9に示す。(a) は式 (1) で示した固有値の最適化前、(b) は固有値の最適化後である。最適化前は大きな誤差が残存するが、最適化後は好適に補正できた。1~24 番の目標値群と補正値群の  $\Delta u'v'$  は、最適化前の平均値が 0.00356、最大値が 0.00653 となり、最適化後の平均値が 0.00168、最大値が 0.00482 となった。図9 (b) の 11, 12 番, 18~20 番のように、現実的な個体差を大きく超える一部のケースで目標 ( $\Delta u'v' < 0.003$ ) に満たなかったが、補正効果は確実に示され、24 ヵ所の平均値は目標を十分に満たした。

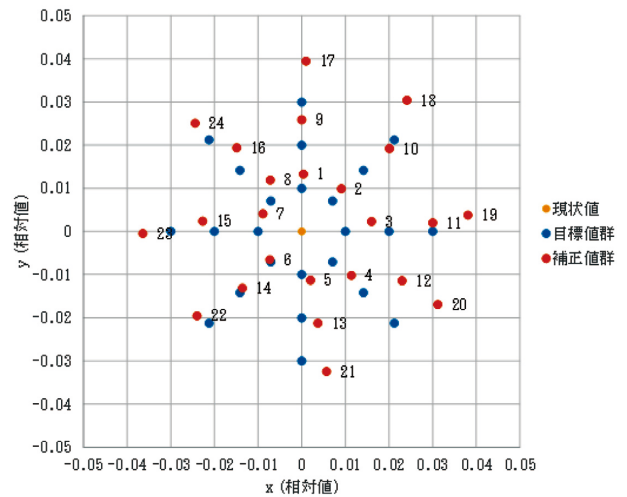


図9 (a) 固有値最適化前の補正結果 (xy 色度)

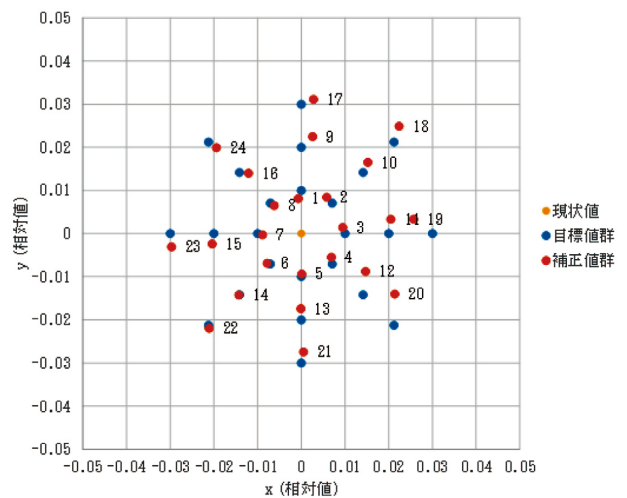


図9 (b) 固有値最適化後の補正結果 (xy 色度)

図9 (b) の目標値群および補正値群を相関色温度に変換したグラフを図10に示す。1~24 番の目標値群に対する補正値群の  $\Delta K$  は、固有値の最適化前は平均 144K、最適化後は平均 52K であり、数百 K オーダの誤差が見られた CCA や BC Look, さらには絶対色温度モードを有する液晶プロジェクタよりも高い精度を示した。

次に、PJ-B に対して本手法と CCA を比較した。CCA に入力する白色の現状色度と目標色度には本手法と同じ値を入力し、輝度の倍率指定を意味するゲイン (0~1) は 1 (維持) とした。PJ-A の実験結果と同様に  $\Delta u'v'$ ,  $\Delta K$  を表1に示す。PJ-A より補正精度は若干劣るが、複雑な多原色から構成される PJ-B においても CCA より本手法の方が高い補正精度を示した。

未知の固有値 ( $X_{UKWN}$ ,  $Y_{UKWN}$ ,  $Z_{UKWN}$ ) への影響があり得るのは DLP Composer で処理される原色数, ガンマカーブ, ランプパワーなどである。それらとの影響を調べると、固有値は原色数に最も強く支配される傾向であった。ブラッ

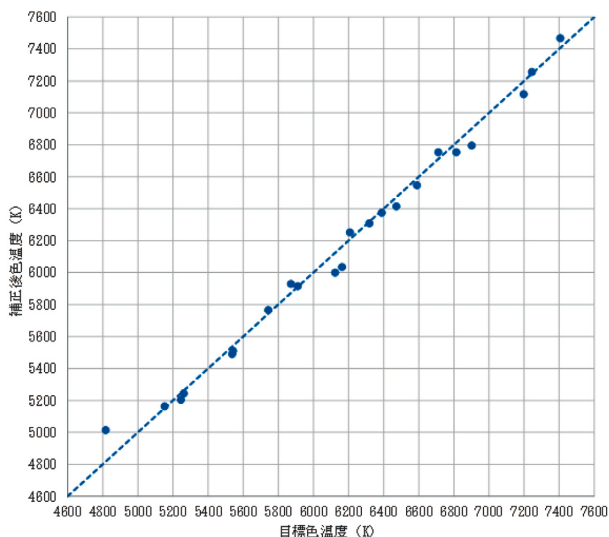


図10 固有値最適化後の補正結果 (相関色温度)

表1 各手法の補正精度比較

補正誤差		$\Delta u'v'$	$\Delta K$
本手法	平均値	0.00322	128
	最大値	0.00666	497
CCA	平均値	0.00641	439
	最大値	0.00766	641

クボックスのため経験則になるが、固有値は-0.5~0.5の範囲で、PJ-Aの場合は正の値に、PJ-Bの場合は負の値にすることで、色温度の誤差を極小化できた。

6原色のPJ-Bの場合、図2に示したカラーホイールに含まれているシアン、イエロー、白色のように、RGBいずれかの補色や無彩色が混色されている影響を受け、本手法による色度の補正量が相対的に減少するものと思われる。より端的な例を挙げると、カラーホイールの1/2が白色、1/6がRGBで構成されている場合、RGBの信号比を変えても、白色の存在によって色度に変化しにくくなると考えれば解りやすい。そのため、PJ-Bには負の固有値を用い、RGB間の信号比を大きくして補正量を強調することが効果的であったと考えられる。

さらに、現状値のxy色度を原点と定義した際、第1・第2象限と第3・第4象限の目標色度(象限間の境界線上を含む)で0.1~0.2の差の固有値( $X_{UKWN}$ ,  $Y_{UKWN}$ ,  $Z_{UKWN}$ )を用いた場合、補正誤差が最も小さい結果となった。また、すべての象限での目標色度に対し( $X_{UKWN}$ ,  $Y_{UKWN}$ ,  $Z_{UKWN}$ )の三つに同じ値を適用した場合でも高い精度を得られた。

最後に、補正後の輝度を図11で比較する。色温度の補正による輝度の低下は不可避である。先述の1~24番を目標として補正した後の輝度の低下を示し、目標値群の

- ・ 1, 9, 17番方向を「G方向」
- ・ 3, 11, 19番方向を「R方向」
- ・ 5, 13, 21番方向を「M方向」

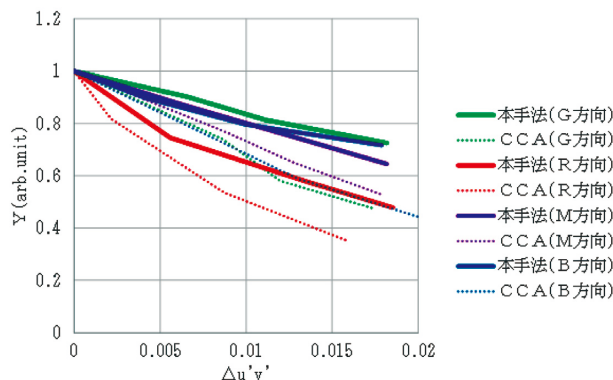


図11 色度補正量と輝度低下の比較

・ 7, 15, 23番方向を「B方向」

とした。目標とする色度の方向によって輝度の低下率は異なるが、本手法はCCA(ゲインを1に指定)よりも輝度の低下が少なく、色度の精度に加えて大きな利点となった。

その後、PJ-AのN数を67台に増やし、目標色温度を6500Kに設定し、本来の目的である個体差縮小の効果を実際に検証した。その結果、適用前の $\Delta u'v'$ の平均値が0.00850、最大値が0.0123である一方、適用後の $\Delta u'v'$ の平均値が0.00108、最大値が0.00202となった。相関色温度の標準偏差( $\sigma$ )は適用前が174K、適用後は39Kであった。本手法の非常に大きな効果を確認し、量産工程に導入できる見通しを得た。

### 3.2 個体差の主観評価

マルチプロジェクションでの効果を定量的に測るため、2台を併置(図12)した際の差異を主観評価した。主観評価に用いた4種類の評価画像を図13に示す。使用したDLPプロジェクタはRICOH PJ WX4141Nで、前述のPJ-Bに当たる。

主観評価は2種類の条件で行った(表2)。条件1は2台の色温度の差が比較的小さく、条件2は2台の色温度の差が比較的大きいケースである。評価環境は暗室とし、投影サイズは50インチ、投影面と被験者の距離は2mとした。評価サンプルの提示時間は10秒とし、評価方法は表3のDCR法<sup>10)~12)</sup>に準じた尺度とした。被験者は正常な視覚を有する13人で、1組の評価画像に対して主観評価を2回行った。

併置したDLPプロジェクタのうち、色温度が低い個体に対して本手法を適用し、色温度を高い方向に補正するようにした。

その評価結果を図14に示す。図中のエラーバーは各被験者による標準偏差である。(a)は評価画像全体、(b)は白べたのMOS値となる。条件1と2ともに、補正後のMOS値が大きく向上した。MOS値4を満たしており、2台の差異が気にならないレベルに改善できたことを示した。条件1は色温度と輝度の双方でプロジェクタXとYの差が縮小したため、MOS値の向上は順当である。条件2は色温度の差が縮小している一方、輝度の差は拡大しているが、MOS値は向上した。色温度の個体差縮小は極めて有用であるこ



図12 DLPプロジェクタの2台併置

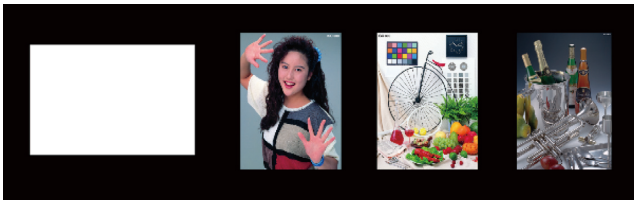


図13 主観評価に用いた評価画像

表2 主観評価に用いたプロジェクタ特性

		プロジェクタX		プロジェクタY
		補正前	補正後	基準
条件1	色温度(K)	6702	6930	6841
	輝度(arb. unit)	556	494	504
条件2	色温度(K)	6252	6819	6850
	輝度(arb. unit)	516	463	503

表3 主観評価に用いた5段階尺度

評点	評定語
5	差異が認められない (Imperceptible)
4	差異が認められるが気にならない (Perceptible, but not annoying)
3	差異が認められ、わずかに気になる (Slightly annoying)
2	差異が認められ、気になる (Annoying)
1	差異が認められ、非常に気になる (Very annoying)

とが主観評価からも明らかになった。

図14(a), (b)の条件1・2において、それぞれの補正前と補正後を1要因としたMOS値(合計4組)に対し、有意確率の基準を0.05として分散分析(ANOVA)を行った。その結果、図14(a)の条件1・2ともに $F(1, 206) > 29$ ,  $p < 0.05$ 、図14(b)の条件1・2ともに $F(1, 50) > 18$ ,  $p < 0.05$ となり、それぞれの補正前と補正後のMOS値には有意差があることを確認した。

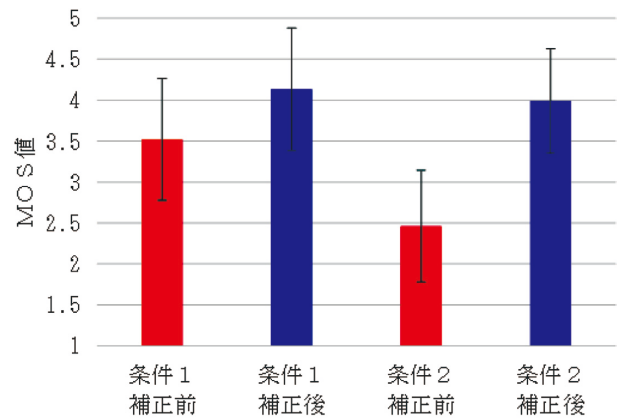


図14(a) 本手法の主観評価結果  
(画像4種類の平均値, エラーバーは標準偏差)

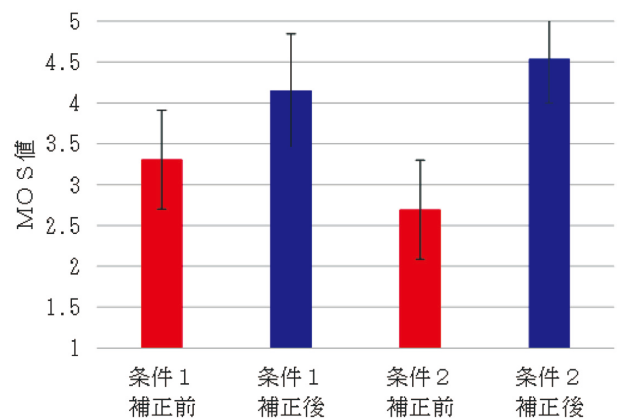


図14(b) 本手法の主観評価結果  
(白べた, エラーバーは標準偏差)

#### 4. む す び

DLPプロジェクタの残課題である投影色の個体差の改善を目的とした。投影色の補正にはCCAという色補正機能が広く用いられているが、さらなる高い精度とコストアップのない容易な実装性を目指した。

そのアプローチとして、白色の現状色度と目標色度のみをパラメータし、DMD駆動などのブラックボックス事象を固有化した独自の補正シーケンスを検討した。

本手法を適用した結果、色温度の目標値に対する補正誤差を100 K以内に非常に小さく抑えることも可能になり、CCAなどの他の色補正機能よりも高い補正精度を実現した。個体差の改善効果は主観評価によっても確認し、色温度の個体差の縮小は画質改善の効果が大きいことを主観的にも明らかにした。

本手法は白色の現状色度と目標色度という最小限の情報を用いるため、専用メモリの追加も不要となる。また、プロジェクタの既存のCPUで簡易に実行できるため、コストアップなく容易に実装できるのも大きな特長となる。

本手法の固有値を目標色度の領域ごとに多数設定するな

ど、より詳細に使い分けることで、さらなる精度向上も可能と考えられる。

本手法はリコー社のDLPプロジェクタに搭載し、マルチプロジェクションなどに活用していただく予定である。

### 〔文 献〕

- 1) D. Doherty and G. Hewlett: "Phased Reset Timing for Improved Digital Micromirror Device™ (DMD™) Brightness", SID Symposium Digest of Technical Papers, 29, 1 (1998)
- 2) A. Kunzman and G. Pettitt: "White Enhancement for Color Sequential DLP™", SID Symposium Digest of Technical Papers, 29, 1 (1998)
- 3) M.C. Stone: "Color Balancing Experimental Projection Displays", Color and Imaging Conference, 2001, 1, Society for Imaging Science and Technology (2001)
- 4) R.L. Heckaman and M.D. Fairchild: "Effect of DLP Projector White Channel on Perceptual Gamut", Journal of the Society for Information Display, pp.755-761 (2006)
- 5) A. Majumder, et al.: "Achieving Color Uniformity Across Multi-Projector Displays", Visualization 2000, Proceedings. IEEE (2000)
- 6) A. Majumder: "Properties of Color Variation Across Multi-Projector Displays", Proceedings of SID Eurodisplay (2002)
- 7) B. Sajadi, et al.: "Color Seamlessness in Multi-Projector Displays Using Constrained Gamut Morphing", Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on 15.6, pp.1317-1326 (2009)
- 8) G. Wallace, et al.: "Color Gamut Matching for Tiled Display Walls", Proceedings of the workshop on Virtual environments (2003)
- 9) M. Brown, et al.: "Camera-Based Calibration Techniques for Seamless Multiprojector Displays", Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions, pp.193-206 (2005)
- 10) M. Nose and T. Yoshihara: "Quantification of image quality for color electronic paper", Journal of the Society for Information Display 20.11, pp.624-631 (2012)
- 11) 三宅： "デジタルカラー画像の解析・評価", 東京大学出版会 (2000)
- 12) 岡本, 林： "映像メディア品質評価技術の最新動向", IEICE ESS Fundamentals Review, 6.4, pp.276-284 (2013)



**能勢 将樹** (のせ まさき) 1999年, 千葉大学大学院修士課程を修了。現在, 東京工業大学大学院博士課程に在学中。1999年, 富士通(株)に入社し, 主に(株)富士通研究所に在籍。2013年, (株)リコーに入社。主にディスプレイデバイスの駆動制御や画像処理, 画質評価の研究に従事, 学生会員。



**馬 善野** (まゐ ぜんの) 2012年, 九州大学大学院修士課程を修了。同年, (株)リコーに入社し, プロジェクタの映像設計, 評価などに従事。



**長谷川史裕** (はせがわ ひろゆき) 1994年, 京都大学大学院理学研究科修士課程を修了。同年, (株)リコーに入社し, 文書画像やプロジェクタに関わるコンピュータビジョン分野や, リラタブルメディア用画像処理技術の研究開発などに従事。



**内川 恵二** (うちかわ けいじ) 1980年, 東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了, York Univ. (Canada) Post doctoral fellow, 東京工業大学助手, 助教授を経て, 1994年より, 東京工業大学大学院総合理工学研究科教授。1986年~1987年, UCSD, Visiting Researcher。視覚情報処理, 色覚, 色彩科学, 心理物理学を専門とする, 工学博士, 正会員。