

I-034

# 液晶ディスプレイ上での折り返し歪低減の絹紋織物表面色再現手法 Method for Reproduction of Surface Color of Silk Figured Fabric with Reducing Aliases on Liquid Crystal Display

尾崎 敬二  
Keiji Osaki

## 1. まえがき

絹織物表面に複雑な紋様を表現する「ジャカード紋織物」は、1802年のジャカード織機の発明以来、経(たて)糸の上下の制御は「紋紙」表面の穿孔分布により実行されてきた。

多様な色調をジャカード絹紋織物(以下、「ジャカード織物」と略す。)表面に再現することは、材料的、技術的、時間的にも高コストである。そのため、織り上げることなしに、ディスプレイ上に織物の織り上がり状況を実物織物に近く再現させようとする「織り上りシミュレーション」技術が求められてきた。ディスプレイ上の織り上がり画像と実際の織物との見えの開きはかなり大きく、この差を縮めることが、「織り上りシミュレーション」の主要な目標であった。

両者の相違の要因としては、ディスプレイの再現色域と織物が持つ再現色域は、根本的に異なること、両者の解像度の差、実織物のテクスチャ感がディスプレイ上では欠落していること、織物の厚み、立体感がディスプレイでは表現できていないことなどがあげられる。

単純な図柄ではなく、複雑な図柄、写真を織物として織り上げる「写真織り」においては手作業の限界を大きく超え、あまりに高コストのため作成されることが稀である。

これまでのカラー原画像をジャカード織物として再現する手法の大半は、原画像の画素の色を、たて糸とよこ糸の交差点に対応させて、いずれかの浮沈で色を表出するものである。高々、よこ糸は数十種類の色の中から選択して、織物として色再現する制約から、カラー原画像の色数をあらかじめ、およそ100種類程度に減色した画像を

もとに、ジャカード織機を制御するデータを作成して製織してきた。

このような、いわゆる「点描」に類似する手法による織物表面の色再現手法では実現できない、織物の基本織り組織を保持しつつ数百種類以上の色を再現するために、一定以上の面積を持つ「織り色組織」をカラー原画像の画素ごとに対応させる「面描」に類似する手法を、われわれは開発してきた。この織り色組織を保持する手法により織り上げられたジャカード織物表面の色調は格段に豊かになり、多数の織り色組織が、織物表面色の再現に必須の「織り色組織パレット」の役割を果たしてきた。織物表面とディスプレイという色再現域の大きく異なるメディアとデバイス間の色域マッピングは、根本的な問題である。

このような場合の色情報の伝達を適切に実現するために、CIE-LAB 均等色空間内での色の対応処理を選択した。

この対応処理とは、複雑なカラー原画像の画素の CIE-LAB 値に対し、あらかじめ用意された多数の織り色組織の分光測色値のデータテーブルから、もっとも色差が最小となる織り色組織を選択し、その CIE-LAB 値が割り当てられた画素から成る画像をディスプレイに表示するものであった。織物表面の観察者は、しばしば織物表面との視距離を変化させて、織物の織り組織を確認しようとする。

このような場合に視距離変化による織物表面の見え方の変化をディスプレイ上にシミュレートできると、織り上がりシミュレーションの有用性は高まると予想される。

単一の色ではなく、複雑なテクスチャと色が入り混じった場合の色見えに関する研究報告は、興味深い [1]。このように測定的色再現に加えて織物表面独特のテクスチャを含めることは、さらに織り上がりシミュレーションの精度を高めると見られる。複雑な紋織物表面色を

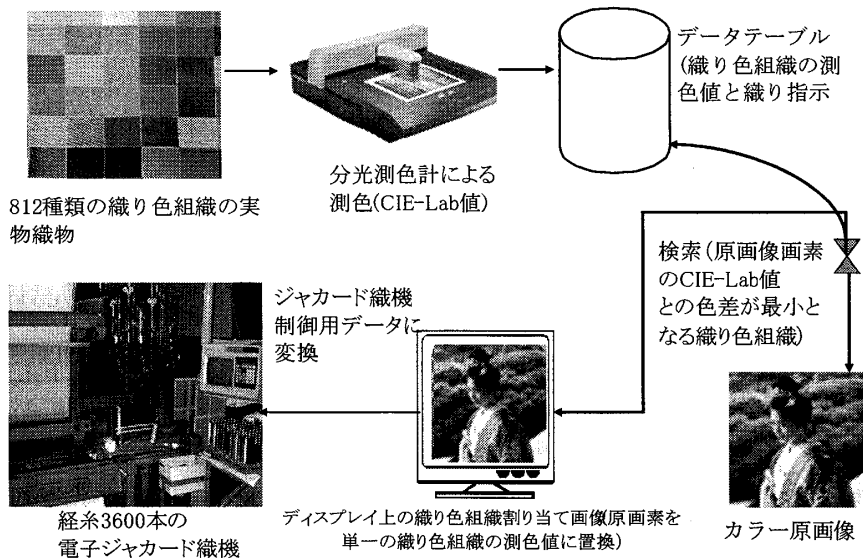


図1 カラー原画像からジャカード織物を作成する流れ図

テクスチャを含めてディスプレイ上に再現しようとする、高い空間を持つ画像表示における「折り返し歪(エイリアス)」の問題が浮かび上がる。そ

のためテクスチャを表示する場合のエイリアシングの抑制は不可欠となってくる。これまでのところ、織物表面色の再現において、測色的色再現性とテクスチャの表示の2つを考慮した織り上がりシミュレーションの報告はない。本論文は CIE-LAB 空間での測色的色再現性が良く、かつテクスチャの見えを含めた、ディスプレイ上でのジャカード織物表面のシミュレーションを実現した手法の報告である。

## 2. 単一色割当画像による織物表面色再現

8種類の色糸と織り組織の組み合わせで表現できるジャカード織物の織り色を数千種類、実物の織物として作成し、分光測色計で測色し、その中から CIE-LAB 空間で重なる色を省き、812種類の織り色組織を選んでデータテーブル(織物色のパレット)化した。このデータテーブルは、分光測色値、織り組織の作成に必要な構成、よこ糸の色、ジャカード織機制御用データなどの要素から成り立つ。この織り色組織のパレットを用いて、カラー原画像の1画素に対し、織り色組織の単一測色値の色を対応させてディスプレイ上に織り色組織割り当て画像として表示する。織り色組織の単一測色値の色割り当て画像(以下では、「単一色割り当て画像」と略す)は、カラー原画像の画素の CIE-LAB 値とデータテーブルにある織り色組織の CIE-LAB 測色値間の色差が最小となる色を探索し、織り色組織の CIE-LAB 測色値に置換した画像である。ディスプレイ上に表示される単一色割り当て画像はカラー原画像の画素と1対1に対応させるので原画像と同じ解像度となる。単一の測色値を画素に割り当てるので、画素を拡大してもテクスチャは見えない。

図1に、カラー原画像からジャカード織物を織り上げるための作業工程流れ図を示す。よこ糸の太さが、たて糸の3倍あるので、カラー原画像の高さを1/3にした画像に、織り色組織の色情報を割り当て、ディスプレイ上で「織り上がりシミュレーション」画像として織物表面再現色を表示する。その後、「単一色割り当て画像」を基にジャカード織機制御用データに変換する。

## 3. CIE-LAB 空間での織り色組織の分布

カラー原画像はデジタルカメラで取得された画像で画素数が数百万を超えているので、その全画素を処理することは困難である。そこで、図2に示すように、幅128、高さ42画素のカラー画像2つを用いて原画像と単一色割当

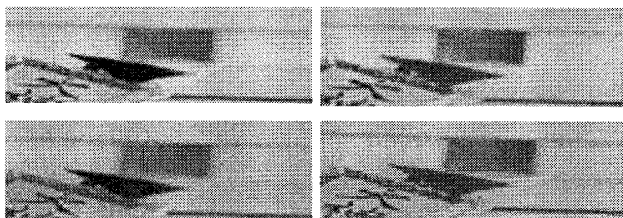


図2 幅128、高さ42画素の異なる色合いの2種類のカラー原画像とそれらに対応する単一色割当画像の例。左列の2つが原画像で、右列の2つが割当画像 a)原画像1(左上), b)原画像1に対応の割当画像(右上), c)原画像2(左下), d)原画像2に対応の割当画像(右下)

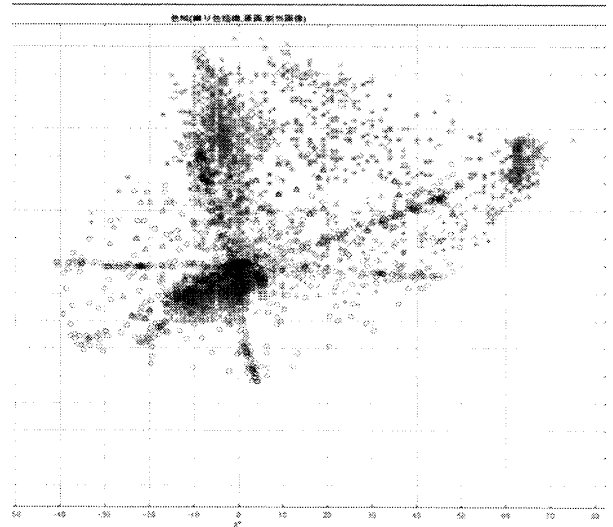


図3 CIE-a\*b\*平面上での織り色組織(O), a)原画像1(x), b)割当画像1(Δ), c)原画像2(+), d)割当画像2(◇)の5組の色再現域の比較

画像の比較分析を行った。カラー原画像に近い織り色組織の色を選択する場合に、色相角の範囲にある一定の角度の制約を設け、CIE-LAB 空間において画素全体の平均色差が最小になる条件を適用して探索した。

織り色組織の分布状況と、カラー原画像の色分布を比較して、色再現域が異なる例を図3で示している。

建築関係の図面と同様に、a\*-b\*面への投影図に相当する色度図、a\*-L\*面の分布図、そしてb\*-L\*面の分布図の3種類を図3から図5に示す。a)原画像1の色域は、広く、織り色組織の色域の外に広がっている。b\*が45以上、a\*が50以上の領域では、a)原画像1の画素の分布のみが存在する。この広がりには織り色組織の色域に対応させることは困難な問題である。これまで、この点を十分考慮して適切に原画像から割当画像への変換を行うことはできていない。織り色組織は、絹糸をあらかじめ染色するため、図4、図5に見られるように、織物の色域の明度L\*

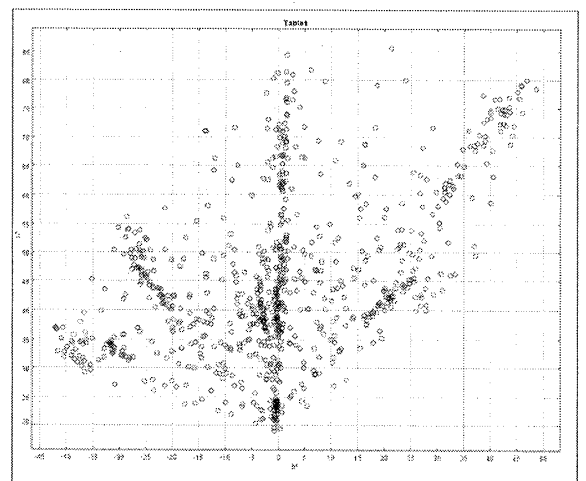


図4 織り色組織812個のa\*-L\*平面上の分布

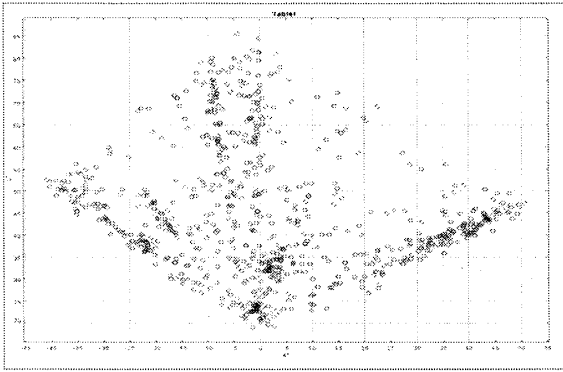


図5 織り色組織 812 個の  $b^*-L^*$  平面上の分布

はおよそ 20 から 85 の間に分布している。この制約を考慮して、明度  $L^*$  の範囲を圧縮してカラー原画像から割当画像を作成してきた

#### 4. テクスチャの見える織り色組織画像データベース

織物表面テクスチャを織り上がりシミュレーションに取り込むためには 3 次元 CG の手法も選択肢のひとつと言える。しかし、ジャカード織物のよこ方向の 1 本のラインは、8 種類のよこ糸が層状構造をなすため、表面から裏面に向かって数本の重ねによる色が見えることになる。これらを考慮した色再現ができず、CG の処理の複雑さと測色的色再現性の保持を優先する観点から、測色的色再現精度の高いスキャナーによる実織物表面のスキャン画像によるテクスチャ表示を試みた。

織り色組織データテーブルの単位織り色組織は、最低、たて糸 4 本、よこ糸 4 本で構成される。単位織り色組織のテクスチャが、十分見えるためには、単位織り色組織が、最低 4[cycles] の繰り返しを持つことが必要と見なして、単位織り色組織画像の横幅を  $4 \times 4 = 16$  画素とした。単位織り色組織画像の縦方向の高さは、よこ糸の太さがたて糸の 3 倍であるので、48 画素と定めた。

この単位織り色組織画像の切り出し手順は、大きさが  $5\text{cm} \times 5\text{cm}$  の 812 種類の実物の織り色組織をスキャナーで画像として保存し、傷やしわなどの目立つ周辺領域を避けて、まず、 $256 \times 256$  画素を切り出す。この大きさは、テクスチャ度を統計量で計量するために必要な大きさから定めた。この画像上で、画像処理ソフトにより  $16 \times 48$  画素サイズの選択枠を動かして、選択枠内の CIE-LAB 値の平均を取りながら、分光測色計による測色値と比較し、測色値に一番近い選択枠内領域を最終的に選択し、切り出す。812 個の切り出された単位織り色組織スキャナー画像の CIE-LAB 値の分布をチェックし、分光測色計の測色値との色差が大きい画像については、切り出し手順を最初からやり直し修正を行った。かなり煩雑な作業・工程を経て出来上がった単位織り色組織スキャナー画像テーブルの一部が図 6 の下段に示す。比較のために、テクスチャのない単一測色値のデータテーブルを上段に並べて示している。

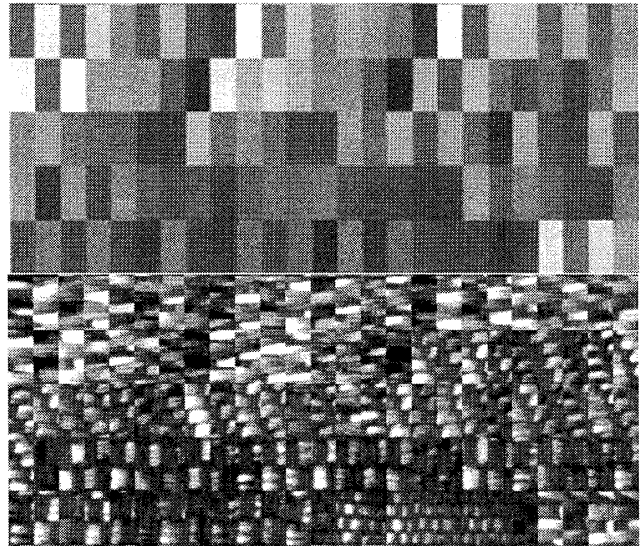


図6 単一測色値画像テーブルと単位織り色組織スキャナー画像テーブル

この単位織り色組織のスキャナー画像で単一色割り当て画像のひとつひとつの画素を置換して、タイル合成画像を作成することにより、テクスチャを持つ織り上がりシミュレーション画像が、ディスプレイ上に表示できることになる。

図 1 における単一色割り当て画像に代えて、新しく生成した単位織り色組織のスキャナー画像データテーブルから単一割り当て画像画素に対応したスキャナー画像を選択し、タイル状に配置することでタイル合成画像が生成される。これを液晶ディスプレイに縮小表示することにより、ディスプレイ上でテクスチャの見えるジャカード織物表面色再現が実現できた。織り上がりシミュレーション実行画面の一例を図 7 に示す。

#### 5. ディスプレイ上に縮小表示するための 3D テクスチャマッピング

3 次元透視図法を用いることで、奥行きを考慮した 2D の画像表示ができる。図 8 に、ここで用いた透視投影図法の概要を示す。左端の点が、視点位置で、右端は対象物体が配置されている位置である。その距離は、 $Z_e + Z_c$  で、対象物体は平面 C であり、ディスプレイ (2 次元投影面)

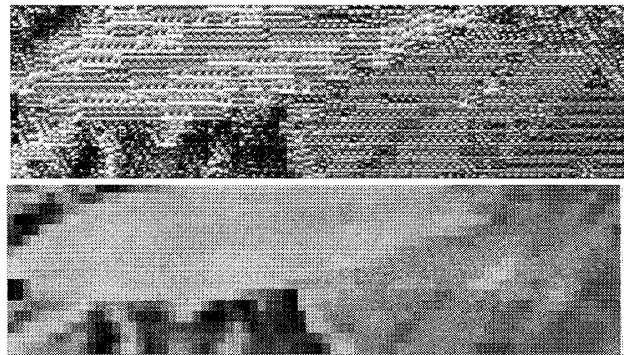


図7 テクスチャの見えるスキャナー画像によるタイル合成画像(上段)と単一色割当画像(下段)の比較

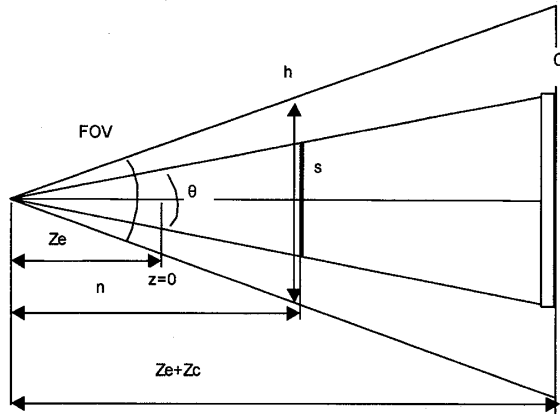


図8 3次元透視図法の概略図

は、視点から  $n$  離れた位置にあって投影される図形は正方形  $s$  とする。この位置のウィンドウの高さを  $h$  として、このウィンドウの画角(Field of View)を  $FOV$  と記す。正方形  $s$  を視点から見渡す高さ方向の角度は  $\theta$  とする。

この図8にあるように、 $h$  と  $s$  の関係では、 $h > s$  で、画像縮小を意味する。つまり、 $FOV$  を大きくすることで、 $s$  の  $h$  に対する割合が小さくなり、ディスプレイ画面上では画像縮小となる。この関係を式1に記す。

視野角  $FOV$  の変化によるディスプレイ上の表示物体の縮小のようすを図9に示す。

図7に示すタイル合成画像は、原画像に対し、 $1:768 (=16 \times 48)$  に対応するため、原画像の768倍の面積を持つ。この拡大画像を実物織物表面を観察する縮尺にするために、液晶ディスプレイ上に縮小表示すると、画像の持つ最大空間周波数が、ディスプレイの解像度に相当する周波数を超えると「折り返し歪(エイリアシング)」を生じる。このエイリアシングを低減するために、「Mipmap」を適用した。

3DCGの技術分野ではアンチエイリアシングのために1983年頃から「Mipmap(小さな場所に多くのものがある)」の技術が利用されており、特にグラフィックステップのハードウェア技術にあらかじめ組み込まれているものもある。視点・対象物間距離が大きくなるにつれ、

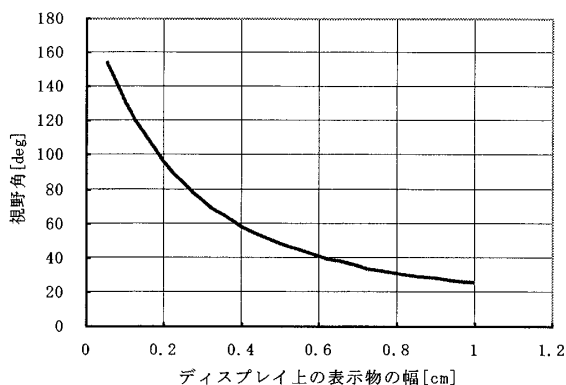
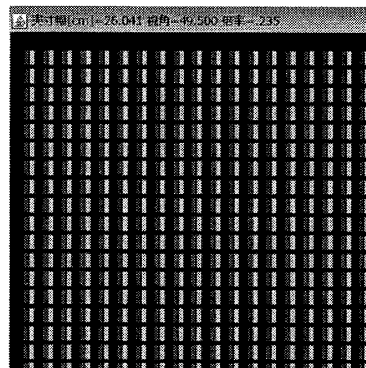


図9 ディスプレイ上の正方形の幅の実測値[cm]と視野角  $FOV$  の関係

LOD(Level of detail)を変化させることによりエイリアシングを抑制する[]技術で、OpenGL等に実装されている。LOD0からLOD3のレベルまでの図を見ると、LOD3では、画像の細かいパターンは見えなくなり、ぼやけていくことがわかる。このMipmap技術は、ヒトの目の空間周波数



特性をある程度反映しており、折り返し歪低減に有効であることが確認された。その確認のために、液晶ディスプレイの色フィルタとして一般的な「縦ストライプ構造」を模したRGBサブピクセルを並べた画像を使用した。式1に示される  $FOV$  を変化させ、画像を縮

図10 折り返し歪低減の確認に使用した画像

小した場合の表示画面の画像の明度  $L^*$  を GretagMacbeth社の放射輝度計(Spectrolino)で実測した。測定口径が8mmであるため、図10のRGBストライプパターンの含まれる割合によって、 $L^*$ の値の幅があり、その場合は最小値と最大値の平均値として求めた変化の様子を図11に示す。

折り返し歪が低減されない場合は、画像縮小とともに、

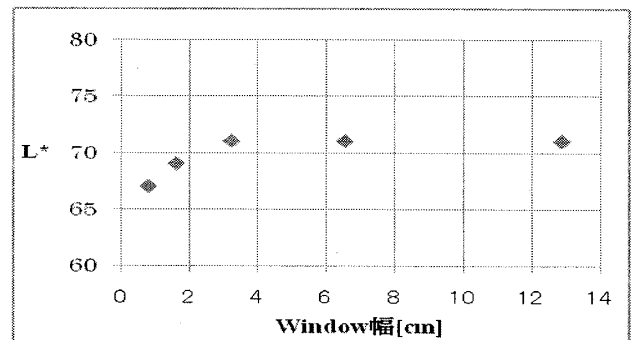


図11 3Dテクスチャマッピングにより図10の画像を縮小した場合の明度  $L^*$  の滑らかな減少の様子

$L^*$ の変化が滑らかでなく、不安定な値となる場合が見られた。

## 5. まとめ

液晶ディスプレイ上にジャカード絹織物表面のテクスチャが見える表示を可能とし、かつ、測色的色再現もある程度保てる手法を提案した。問題となってきた折り返し歪の低減に効果があることを示せた。平面画像を3次元透視図法によりディスプレイに表示する方法は、観察距離の変化によるテクスチャの見えの影響を観察する場合にも有効と見られる。

### 参考文献

[1]森俊夫, 浅海真弓, RGB色空間を用いた色彩テクスチャのカラーイメージと視覚的特徴の関係, 日本家政学会誌 Vol.59 No.6(2008)379-386.