

# 自然画像を元にしたジャカード織物組織の生成手法の研究

五十嵐 哲也・豊浦 正広\*・茅 暁陽\*・秋本 梨恵

## Technique for Generating Jacquard Fabric from Natural Image

Tetsuya IGARASHI, Masahiro TOYOURA\*, Xiaoyang MAO\* and Rie AKIMOTO

### 要 約

ジャカード織物に特化した画像の二値化手法としてこれまで開発した織物ディザ法、拡張誤差拡散法<sup>1,2)</sup>では、写真調の豊かな連続階調と高い解像度を織物上に容易に再現することを可能とした。本研究ではそれらの従来技術では解決できなかった課題である、緩やかな階調変化のある領域で生じる元画像に存在しない周期的なパターン（アーティファクト）の発生を防ぐ手法として、オーダードステップングディザ法、ランダムシフトステップングディザ法を開発した。また多丁杼による多色ジャカード織物の製造手法上の課題である、少ない色糸数で色の再現性を高める手法について、画像の色情報をもとに緯糸色を提案するアルゴリズムを開発、これを織物設計支援ツール”Photo2Fabric ver.3.4”に実装し、その有効性を試織試験によって示した。

### 1. 緒 言

ジャカード織物は、糸の色と織物組織構造の双方を用いたグラフィック表現の一種といえることができる。伝統的なジャカード織物では、図案を領域分割してそれぞれの領域毎に色糸の見え方が異なる織物組織を割り当てることで、図案を織物上に表現する。このとき通常ひとつの領域内はひとつの織物組織がタイリングされた同一パターンの繰り返しとなっている。

一方でこうした領域分割によらず、漸進的に変化する織物組織を用いて陰影を表現する手法が近年発展し、さまざまな写真織の技術が提案されている。例えば Ng らの多色表現<sup>3)</sup>や、織物ディザ法、拡張誤差拡散法<sup>1,2)</sup>などである。

本研究では、これまでの研究結果をもとにして次の二つの方向により新しいジャカード織物組織の生成手法を開発し、試織試験によってその有効性を示した。

まず一つ目に元画像のうち緩やかなグラデーション領域で生じる元画像に存在しない周期的なパターン（アーティファクト）の発生を防ぐための新しい手法として、閾値の配置を記述する数列「オーダーユニット」を定義し用いた最適化織物ディザ法と、これを応用したランダムシフト織物ディザ法を提案する。二つ目としては、織物ディザ法を活用し多丁杼による多色織を行うための手法として、保有する色糸からの緯糸色選択を最適化するアルゴリズムと、それを実装した織物設計支援ツール”Photo2Fabric ver.3.4”を提案する。

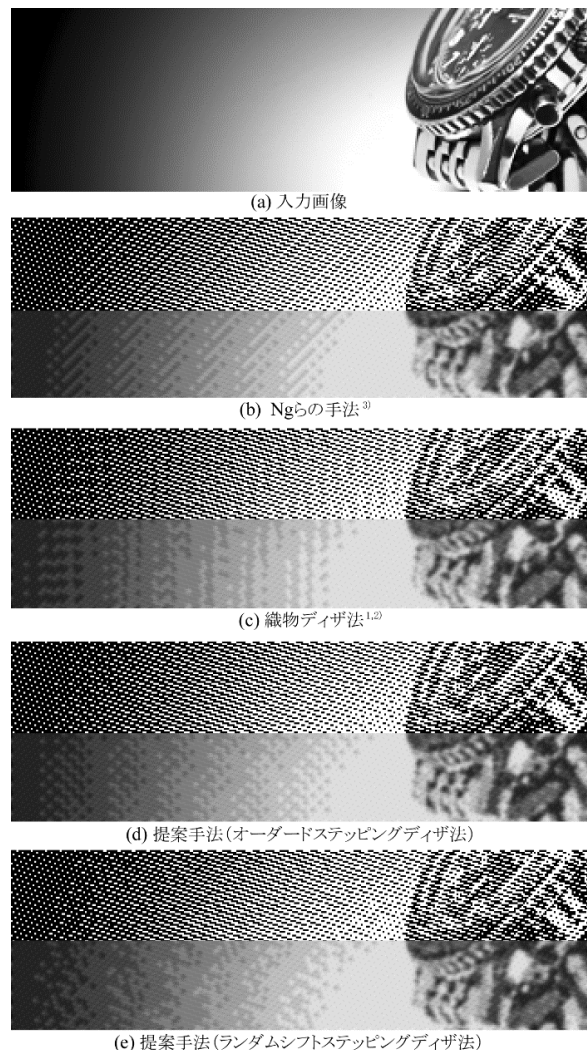


図1 従来手法でのアーティファクトの発生

\* 国立大学法人山梨大学

## 2. 従来技術の課題と解決法(1)

### 2-1 緩やかな階調でのアーティファクトの発生

図 1 は、図 1(a)の入力画像を元に織物組織を生成した結果を示し、図 1(b)は Ng らの手法<sup>3)</sup>、図 1(c)は織物ディザ法<sup>1,2)</sup>の結果を示している。これらは入力画像を織物組織のパターンに基づいて二値化し、経糸が黒、緯糸が白として製織した結果、入力画像を織物上に再現できるよう開発された技術であり、それぞれに陰影を良く再現しているが、緩やかなグラデーションの領域では、図 1(b)では 45 度の角度で右上がりの斜線状の構造が目立ち、図 1(c)では縦及び横方向へのクサビ形の規則的なパターンが生じていることが見て取れる。なおそれぞれ画像の下半分はこうしたアーティファクトの発生が良く見えるようガウシアンフィルタによるぼかしが入っている。これらのアーティファクトは織物の美観を損ねるため望ましくないものであるが、従来技術ではこれらの発生を防ぐことができなかった。図 1(d)及び(e)は本研究の提案手法である。いずれも明確な形状を伴うアーティファクトが発生しておらず、従来技術では実現できなかったスムーズな階調が表現できていることが分かる。

### 2-2 アーティファクトの発生原因

アーティファクトの発生原因について考察した結果、ディザマスク内の閾値の配置に問題があると推測することができた。その内容を図 2 に織物ディザ法におけるアーティファクトの発生原因を図示し説明する。

図 2(a)は入力画像、これを図 2(f)のディザマスクを用いて二値化した結果が図 2(g)、それをガウシアンフィルタでぼかした画像が図 2(h)である。元画像の輝度が 20 及び 100 の周辺に着目すると、図 2(h)では輝度 20 周辺で横方向のクサビ形、輝度 100 周辺では右上がり 45 度のアーティファクトが顕著である。この原因と思われる閾値の配置を図 2(b), (c), (d), (e)で示す。図 2(b), (c)は、二値化で用いた図 2(g)のディザマスクのうち、輝度 20 及び 100 に相当する部分のみを抜き出したものである。図 2 (d), (e)は、抜き出した閾値の値の大小をグレースケールの濃度で強調し、タテヨコ 4 個ずつ並べたものである。図 2 (d), (e)と図 2(h)を比較すると、同様の構造が現れていることが見て取れる。このことから、アーティファクトの発生は、その輝度に相当する閾値がどのようにディザマスクの中で配置されているかによって起こると言うことができる。

### 2-3 アーティファクト発生原因の分類

前節での検討結果をもとにアーティファクトの発生原因を図 3 に示すように大きく 2 つに分類した。一つ目は図 3(a), (b)に示したような水平及び垂直方向での閾値配置の偏りであり、もう一つは図 3(c), (d)に示したような縞子

線上の近接閾値の連続である。ここでは 8 枚縞子タイプのディザマスクを例に挙げているが、8 個の連続する閾値がこの 2 つのタイプの偏りを持つときに、アーティファクトが発生すると考えられる。

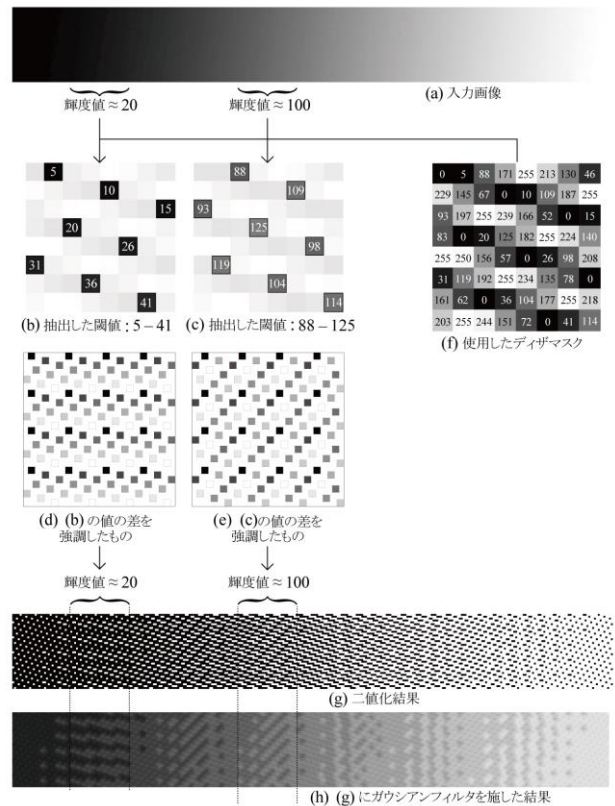


図 2 アーティファクト発生原因

### 2-4 オーダーユニット

ディザマスク内の閾値の配置を改善し、前節の問題を解決するため、ここでオーダーユニットという概念を新たに導入する。オーダーユニットは、ディザマスクの各スロットにおける閾値の順序を示す数列である。まずスロットは図 4 に示したように、ディザマスク内の各行内で同じ順序にあたる閾値のある場所である。ディザマスクのサイズを  $n$  としたときスロットは  $n$  グループあり、それぞれのスロットグループ内には  $n$  個のスロットが存在する。例えば図 4 では  $n=8$  の場合を示しており、スロットグループ 1 ( $=S^1$ ) は、スロットグループ 0 ( $=S^0$ ) の右隣に位置する。

また、ディザマスク内の閾値  $v$  は 0 から 255 の値の範囲でできる限り均等な間隔を持つよう定義される。閾値  $v$  もディザマスクのサイズを  $n$  としたとき  $n \times n$  個が存在し、それらは図 5 のように  $n$  個の閾値をもつ  $n$  個のグループに分類される。そして、各閾値がどのスロットに配置するかを示すのが、新たに定義するオーダーユニットである。オーダーユニット  $O$  は  $n$  個の値を持つ連続した自然数で構成される。

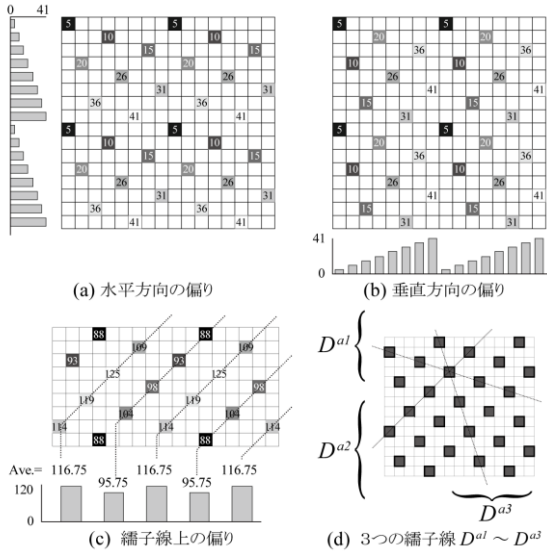


図3 アーティファクト発生原因の分類

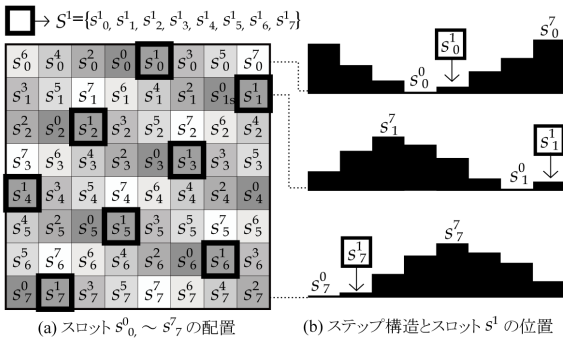


図4 デザインマスクにおけるスロット

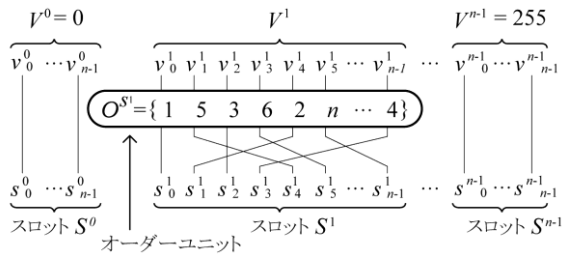


図5 オーダーユニット

### 2-5 オーダーユニットの最適化

本研究では、サイズや元の織物組織のタイプが異なる様々なデザインマスクについて、最適なオーダーユニットを算出するため、図3に示した水平-垂直方向での閾値の偏り、罫子線上の近接値の連続があった場合にコスト値が高くなるよう設定した計算式を用い、最小コストを導くコスト関数を解く手法を考案し、これによって閾値の偏りのない最適なオーダーユニットを求めた。表1にその主な結果を示す。なお表のmは罫子の飛び数を表す。

表1 コストが最少となったオーダーユニット

| n  | m | コストが最少となったオーダーユニット                      |
|----|---|---|
| 7  | 4 | { 1 3 6 4 2 7 5 }                       |
| 8  | 5 | { 1 3 7 5 2 4 8 6 }                     |
| 9  | 2 | { 1 6 3 7 4 9 2 5 8 }                   |
| 10 | 7 | { 1 3 10 5 7 2 4 9 6 8 }                |
| 11 | 3 | { 1 6 8 3 11 5 2 10 4 7 9 }             |
| 12 | 5 | { 1 8 10 3 5 12 2 7 9 4 6 11 }          |
| 13 | 3 | { 1 7 13 3 10 6 2 9 5 12 8 4 11 }       |
| 14 | 3 | { 1 8 13 4 9 6 11 2 7 14 3 10 5 12 }    |
| 15 | 4 | { 1 10 5 11 6 15 4 7 14 3 8 13 2 9 12 } |

### 2-6 オーダーユニットによるディザマスク生成法

#### A オーダードステッピングディザ法

前節で求めたオーダーユニットを用いて織物ディザ法によるディザマスクを生成する手法をオーダードステッピングディザ法と呼ぶこととする。

#### B ランダムシフトステッピングディザ法

オーダードステッピングディザ法は  $n \times n$  サイズの同じディザマスクを多数繰り返して全体のディザマスクを生成する手法であるため、アーティファクトが発生しなくても繰り返しパターンであることは認識できてしまう。そこでそれを避けたい場合のために、図6に示すように数値  $R$  ( $0 \leq R \leq n$ )の範囲の乱数を用いてオーダーユニットの開始点をシフトさせてディザマスクを生成する手法を考案した。これをランダムシフトステッピングディザ法と呼ぶ。

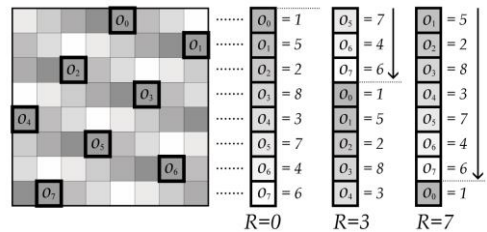


図6 ランダムシフトステッピングディザ法の概念図

### 3. 従来技術の課題と解決法(2)

#### 3-1 多色ジャカードにおける課題

ここまでは経糸=黒、緯糸=白での場合を述べてきたが、経糸と緯糸に複色色を用い、チャンネル毎に陰影表現を行う二値化処理によってカラー化が可能となる。従来手法ではCMYやRGBなどの基本色チャンネル用い、基本色に染めた糸色の並置混色によって色を再現するのが一般的である<sup>4)</sup>。このとき色の再現性を向上するには、一つの色を表現するために用いる糸色の数を多くする必要があり、同時に解像度も向上しようとするれば糸密度は高くなるを得ない。このため、生地が厚くなることとコスト上昇がカラーの写真織の大きな制約となっている。この問題を踏まえ、入力画像に適した糸色を選択して用いる手法を提案する。

本稿で提案する手法では、CMYやRGBなどの基本色だけでなく、任意の色系の組み合わせによって入力画像の色を再現することを可能とする。これはカラー印刷におけるCMY インクや、液晶モニタなどで用いるRGB 信号の場合、基本色を他の色に改変することが困難であるのに対して、織物の場合ではそれが緯糸の交換として極めて容易に行えることを利用したものである。このため、ある入力画像を表現するのにより適した色系を選択的に使用し、また逆に貢相対的に献度が低い色を意図的に使用しないことが可能となり、再現性の向上とコスト削減の双方が実現できるメリットを持つ。

提案手法では、まず保有する糸の色をデータベースに登録しておき、次の手順で色系の選択を行う。第一に、その色の組み合わせで入力画像を再現するうえで最適な緯糸の色を選択する。第二に、2色目以降の糸について、すでに選択されている糸で再現できる色を考慮して、まだ再現できていない色を再現する色を選択する。

### 3-2 色系の選択アルゴリズム

ある画素(x,y)の色  $c(x,y)$  を経糸色  $c_i^v$  と緯糸色  $c_j^h$  によって表現することを考える。先染め織物による混色は、印刷やモニタ画面と違い並置混色であるため、2色を混ぜ合わせて現れる色の範囲が線分で表現できる。以降のアルゴリズムでは、この線分と対象画素値の距離に基づいて計算する。

図7に示すように色空間上で  $c_i^v$  と  $c_j^h$  を結ぶ線分を想定すると、この線分は経糸と緯糸の露出の割合を変えて表現できる色の範囲を示すことができる。その混合比は  $t$  を  $0 \leq t \leq 1$  としたとき、 $t : 1 - t$  と表せる。 $t = 0$  のときに  $c_i^v$  に最も近く、 $t = 1$  のときに  $c_j^h$  に最も近いものとする。 $c$  から  $c_i^v$  と  $c_j^h$  を結ぶ線分に下した垂線の足  $c_p$  が、表現できる色の範囲で最も  $c$  に近い色である。垂線の長さ  $e$  は、経糸色  $c_i^v$  と緯糸色  $c_j^h$  との組み合わせによっては表現できない誤差を表す。表現したい画像の中の全ての画素について誤差  $e$  を計算し、全て足し合わせたとき、最もその総和が小さくなるような緯糸色  $c_0^h$  を選ぶことがこの手法の第一段階である。

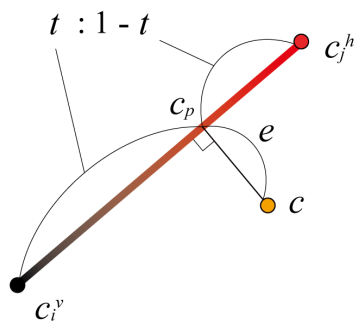


図7 画素中の色  $c$  と経糸色  $c_i^v$  と緯糸色  $c_j^h$

第二段階では、次に選択する緯糸色として、全体としての誤差を小さくするものを選択する。それには、一番目選ばれた緯糸色  $c_0^h$  で表現したとき誤差が大きかった画素の色をよりよく表現できるような色を選ぶことが有効である。この具体例を表2と図8によって説明する。

表2 画像中の各画素値と表現可能な色との距離

|           | 各組合せに対する誤差 $e$ |     |     |     |     |
|-----------|----------------|-----|-----|-----|-----|
|           | 黒×赤            | 黒×橙 | 黒×青 | 黒×緑 | ... |
| 画素値 $c_1$ | 10             | 15  | 50  | 20  | ... |
| $c_2$     | 50             | 45  | 20  | 30  | ... |
| $c_3$     | 5              | 10  | 60  | 25  | ... |
| ⋮         | ⋮              | ⋮   | ⋮   | ⋮   | ⋮   |

表中の画素には黒色の経糸が割り当てられることがあらかじめ決まっているとす。緯糸には赤、橙、青、緑などの選択肢があるものとする。最も画像をよく表現する緯糸色  $c_0^h$  には、誤差の総和が小さい赤が選択される。黒×赤の列に示した値 (10,50,5...) が赤に対する誤差であり、この総和が他の色よりも小さいことになる。

2番目以降の緯糸色を選ぶとき、単純に誤差の総和だけを求めると、1色目の赤に近い橙が選ばれることになる。赤の誤差の総和が近ければ、似た色でも誤差の総和が小さくなるが多いためである。これに対して、たとえば画素色  $c_2$  に対しては、橙よりも青や緑を選ぶ方が、赤では表現できなかった画素値を表現でき、誤差の総和を小さくすることができる。よって、2色目以降の緯糸色を選ぶときには、それまでに選ばれた緯糸色で誤差が大きかった画素値をよりよく表現できる色を選ぶようにする。図8は、誤差量を横軸にしたグラフでこのイメージを表現したものである。黒×青の組み合わせが誤差の総和が最も少ないものでなくても、グレーの領域で示したように、1色目選ばれた赤の誤差を最も多く減らすことができているため、2色目には青が選ばれることとなる。

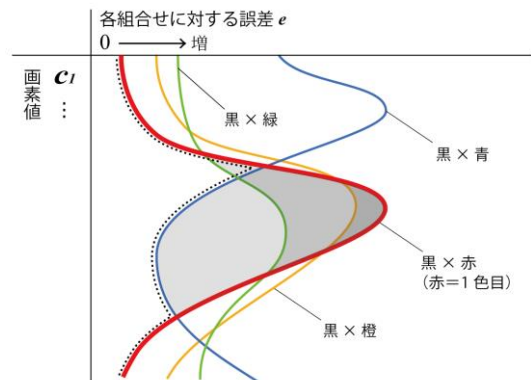


図8 2番目の色を選ぶ際に考慮する誤差量のイメージ

次に3色目を選ぶ際には、各画素について、すでに選ばれた緯糸が生じさせる最も小さい誤差の値、すなわち図8のグラフのうち、縦軸から最も近い黒い破線で示した部分の誤差値の総和を、最も多く減らすことのできる色が選ばれる。

このようにして選ばれる緯糸色は、元画像のうち最も広い面積を占める色、画像全体を支配している色、色調を表わす色となる。

さらに、画像中にデザイン上の重要性の高いモチーフがある場合には、その色が正しく表現されるようにすることで、ユーザの主観を最もよく反映した結果を得ることができる。図13(a)の例では、ヒマワリが主要なモチーフとなっており、その他の領域に比べヒマワリの色をより正しく表現したいことが考えられる。このような目的のために、重みマップ R を準備して、緯糸選択の際に誤差量に重みづけを与え、より重要なモチーフの色がより正しく表現できるよう考慮した。この重みマップは、ユーザが表現したい主体を選択して恣意的に選択することもできるし、自動処理のためには図13(b)のような顕著性マップ<sup>9)</sup>を利用することもできる。顕著性マップを用いれば、画像中で注目されやすい領域の重みを大きくして緯糸を選択することができる。

### 3-3 Photo2Fabric への実装

緯糸色の選択アルゴリズムを織物設計支援ツール Photo2Fabric<sup>1,2)</sup>に実装し、任意の画像から対話的に多色ジャカード組織が生成できるようバージョンアップを行った。その操作画面を図9に示す。また緯糸だけでなく、経糸色の指定も可能とした。



図9 Photo2Fabric ver.3.4 の操作画面

## 4. 実験

試織には、電子ジャカード付レピア織機(ツダコマ FLEX / ストープリ CX960 ELJ-W SERIES) を用いた。製織条件は表3のとおりである。また図10に多色ジャカードで用いた緯糸22色を、CIE L\*a\*b\*表色系のうちの a\* と b\* を縦軸と横軸に選択してプロットしたものを示す。図10には全120色の製品がプロットされており、このうち○で囲つ

たものが製織のために準備した22色である。

表3 製織条件

|    |    |        |          |          |
|----|----|--------|----------|----------|
| 経糸 | Pe | 50/2 d | 78羽3本入   | (62本/cm) |
| 緯糸 | 綿  | 60/2 s | 157本/インチ | (62本/cm) |

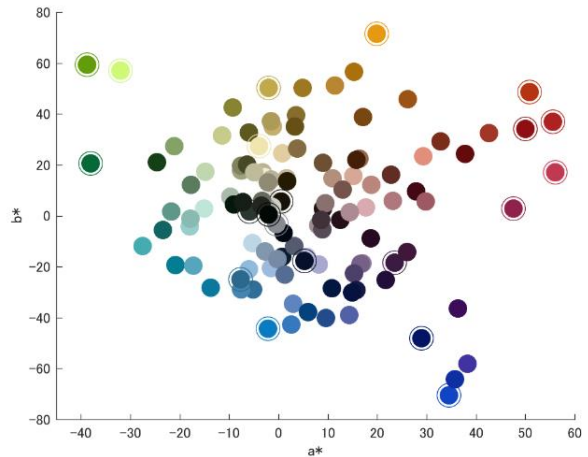


図10 実験に用いた緯糸の色

## 5. 結果

### 5-1 試織結果 : アーティファクトの発生について

図11に最適化したオーダーユニットを用いたディザマスクによる入力画像(図11(a))の二値化結果(図11(b), (c), (d)), そしてアーティファクトの発生が考慮されていないオーダーユニットによる結果(図11(e), (f), (g))を示す。

図12には二値化結果及び試織後のサンプルを示した。図12(b), (c), (d)は従来手法による二値化結果を示す。図12(e)は提案手法のひとつオーダードステッピングディザ法、図12(f)はランダムシフト織物ディザ法、図12(g), (h)はオーダード織物ディザ法、ランダムシフトステッピングディザ法に拡張誤差拡散法を併用した結果を示し、図12(i)~(l)は、図12(e)~(h)を実際に製織した結果を示す。

提案手法では、いずれの結果からも目立ったアーティファクトが除去され、スムーズな階調変化とハイコントラスト部分の双方が再現されることが分かった。

### 5-2 試織結果 : 多色ジャカードについて

図13に生成したジャカード組織パターンを示す。各行は左から入力画像、RGBによる生成パターン、CMYによる生成パターン、選択色による生成パターンと選択された緯糸色を示す。重みマップには入力画像の顕著性マップを利用した。従来技術のようにRGBやCMYの決まった基本色の緯糸を利用する場合には、入力画像の陰影をよく表現できずにコントラストが落ちたようなパターンが生成された。これに対して提案手法で適切な色を選択する場合には、コントラストの高いパターンが生成された。それぞれ

上位3色によるパターン生成結果を示しているが、デザインの美観に従って、より適切な色を選択してパターンを生成することもできる。

図14に多色ジャカードについてPhoto2Fabric ver.3.4を用いて生成した画像と製織結果を示す。自動選択された上

位3色を使って、織物デザ法と織物誤差拡散法でパターンを生成した。パターン画像上で二値化手法による違いは確かめられないが、製織結果上では、織物誤差拡散法の方が入力画像の色合いをより反映するが、黒つぶれが目立つ結果を示した。

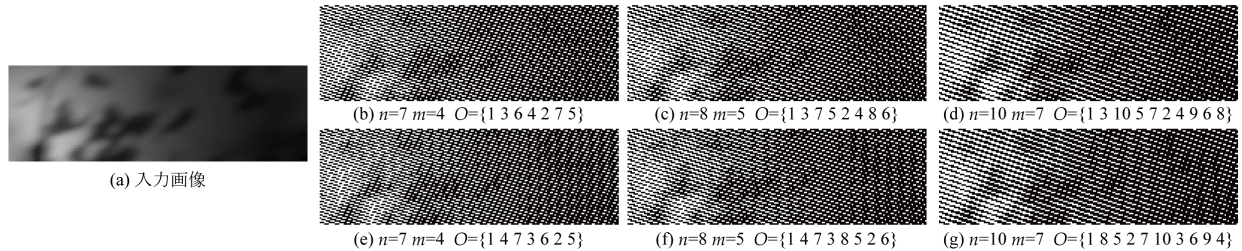


図11 最適化したオーダーユニットによるデザマスクとアーティファクトを生じさせるデザマスクの比較

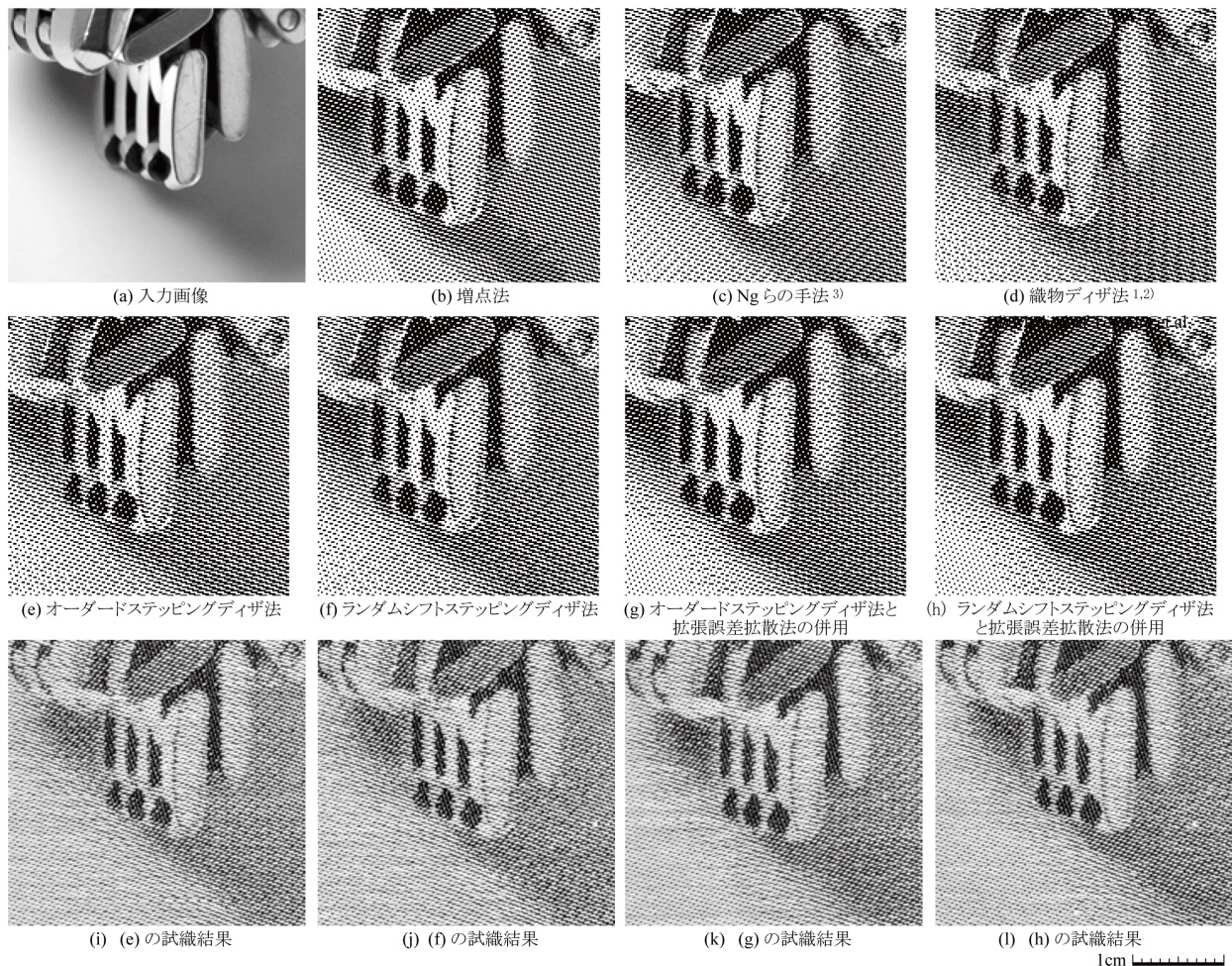


図12 従来手法とオーダーユニットを用いた提案手法の比較



図 13 自動緯糸選択と多色織パターン生成の結果.

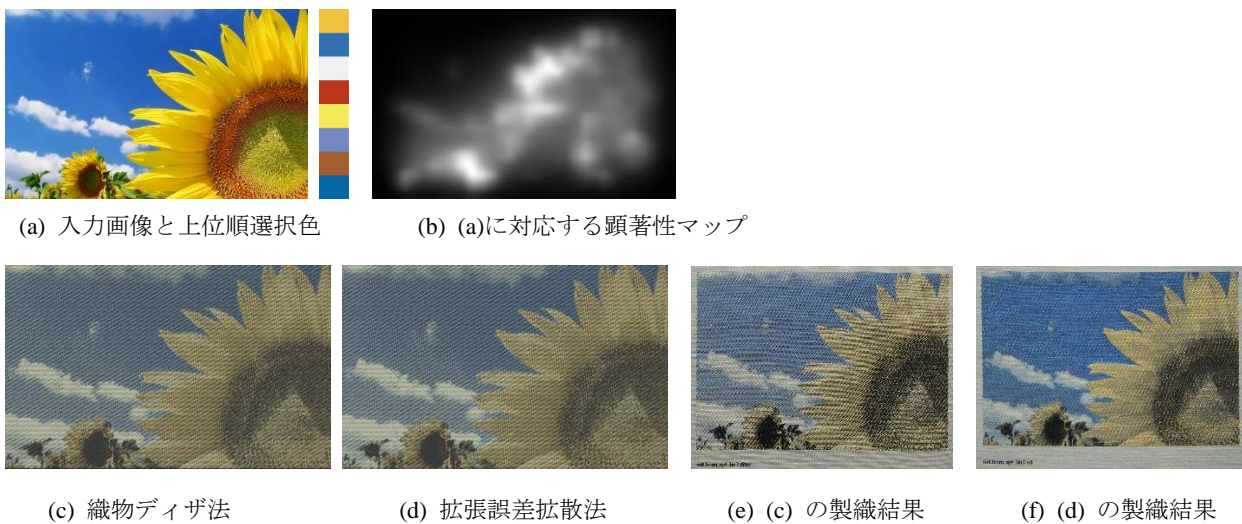


図 14 選択された緯糸色による多色織パターン生成結果と製織結果

## 7. 結 言

従来の織物ディザ法で用いられた閾値が階段状に配置されたディザマスクでは、自然画像の階調を容易に織物組織に変換することができたが、ディザマスク内の閾値の配置を厳密に規定していなかったため、アーティファクトの発生を避けることができなかった。本研究では、これを解決する二つの手法、オーダードステッピングディザ法、ランダムシフトステッピングディザ法を提案し、その有効性を示した。この改善により、これまでの手法では困難だった緩やかで一様なグラデーション表現を可能とすることができた。

また多色ジャカード織物への応用においては、これまで CMY などの基本色を糸色に用いた手法が従来技術で採用されてきたが、画像の色情報を元に緯糸の色選択を効果的に実現する手法により、より少ない色糸数で元画像を織物上に効果的に再現できることを示した。

今後の方向としては、オーダーユニットを活用する手法の応用により、低コントラスト領域の解像度を高める技術の開発、織物企業による試用からのフィードバックを反映したユーザビリティの向上を検討することが考えられる。

## 謝 辞

本研究の一部は、総務省 SCOPE(152103007)の助成を受けて行われたものである。

## 参考文献

- 1)豊浦正広, 五十嵐哲也, 庄司麻由, 茅 暁陽: ジャカード織物作製のための制約付き画像二値化, 芸術科学会論文誌, Vol.13 No.3, p.124-133 (2014).
- 2)五十嵐哲也, 豊浦正広, 庄司麻由, 茅 暁陽, 秋本梨恵: 山梨県富士工業技術センター平成 25 年度業務・研究報告,P.52-62 (2014)
- 3)F. M. Ng and J. Zhou, “Digital Jacquard Textile Design in a Colorless Mode,” Research Journal of Textile and Apparel, Vol.10 No.2, p.36-42 (2006)
- 4)K. Osaki : Reproduction of Various Colours on Jacquard Textiles by Only Eight Kinds of Colour Wefts, Proceedings of SPIE, Vol.4421, p.740-744 (2002)
- 5)X. Hou, J. Harel, and C. Koch : Image Signature: Highlighting Sparse Salient Regions, IEEE TPAMI, Vol.34 No.1, p.194-201, (2012)