

織物構造のイメージング技術に関する研究

—織物構造の立体表現技術—

太田幸一、安田篤司

要 旨

織物企画設計作業の高度化・効率化を図るため、3次元コンピュータグラフィックスを利用し、織物組織図から、織物を構成している経緯糸を立体的に表現する技術に関する研究を行った。組織図から求められる糸の上下関係と織物規格から求めた糸の座標データを基に糸の形状をベジェ曲面で表現することで、織物中における糸の立体形状の表現が可能となった。また、組織点周囲における糸の浮き沈み状態から、組織点における糸の高さ位置を補正する処理を加えることにより、多層構造織物の構造を立体的に表現することが可能となった。

1. はじめに

織物は複数の糸を交錯させた複雑な立体形状をもち、糸の素材、糸密度、織物組織など様々な要因で構造が大きく変化する。高付加価値をもつ製品が要求されている現在では、織物企画設計作業において、この織物の立体構造を把握することが必要とされている。しかし、組織図や織物規格から織物の立体構造を把握することは難しく、必要とされる立体構造をもつ織物を設計するには、相当の経験と知識を要する。

一方、昨今のコンピュータグラフィックス技術の進歩はめざましいものがあり、3次元コンピュータグラフィックスの技術を利用することでコンピュータの画面上に実物の立体形状を忠実に表現することが可能となり、汎用の3次元コンピュータグラフィックスシステムやソフトウェアが様々な分野で幅広く利用されている。これらのシステムやソフトウ

ェアを利用すれば、織物の立体構造をコンピュータ上に表現することは可能だが、織物の知識だけでなく、3次元コンピュータグラフィックスを作成する技術が必要となるため、織物企画設計作業の現場では、織物の立体構造を表現するための専用のシステムやソフトウェアが求められている。

様々な研究者により、織物構造を3次元表示するための方法論が報告されている。例えば、Liaoらは、糸の中心線に沿って断面形状を掃き出し（Sweep）操作を行うことで織物中での糸の屈曲状態を3次元表現できることを示した¹⁾。また、LinらはB-スプライン曲線を使用して糸の屈曲状態を表現する方法（B-スプライン法）を提案している²⁾。これらの報告は3次元コンピュータグラフィックスにより織物構造を3次元表示可能であることを示しており、実際に様々な組織についての表示例が呈示されているが、組織図から

3次元表示のためのデータを作成する方法については示されていない。

本研究では、織物技術者が3次元コンピュータグラフィックスなどの特殊な知識を必要とせず、与えられた織物組織図から、織物の立体的な構造を確認することができるように、織物組織図から織物を構成している経緯糸の形状を立体的に表現する方法について検討を行った。

2. 原理

2. 1 処理の流れ

3次元コンピュータグラフィックスで物体の立体形状を表現するには、第1段階として、対象となる物体を点や線、多角形(ポリゴン)などの幾何学的基本要素群に分割し、それぞれの基本要素の3次元空間における座標群を決定する処理が必要となる。その後、第2段階として、この3次元空間の座標群を2次元空間上に変換して表現する処理を行う。前者の処理をモデリングと呼び、後者の処理をレンダリングと呼ぶ。

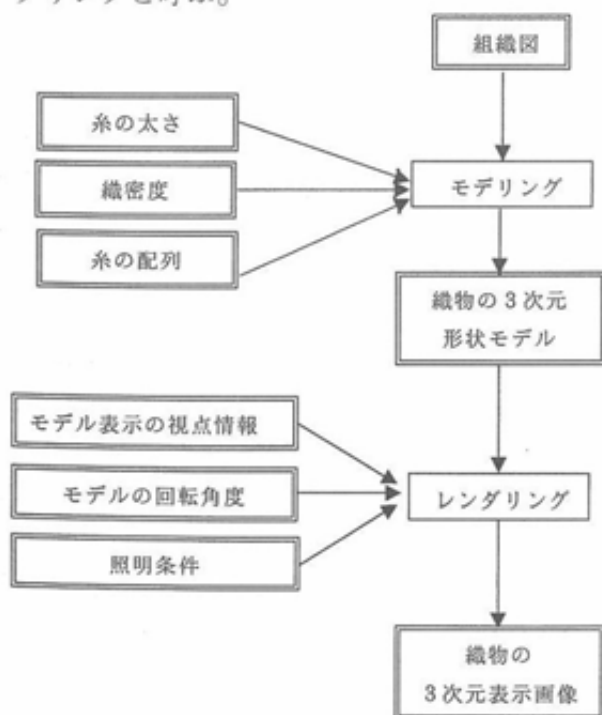


図1 織物構造の3次元表示処理のフロー

織物組織図から織物を構成している経緯糸の形状を立体的に表現するには、図1に示すように、織物組織図と糸の太さ、織密度などの織物規格に関する情報を元に、構成する経緯糸1本ごとに対して織物中での座標を確定しモデリングを行い、織物の3次元形状モデルを作成する。その後、3次元形状モデルを表示する視点やモデルの回転角度などの表示に関する座標情報を与え、レンダリング処理を行うことで、立体形状の表現が可能となる。

2. 2 ベジエ曲面による糸のモデリング

3次元コンピュータグラフィックスでモデリングを行う場合、複数の多角形の組み合わせでモデルを表現するポリゴンモデルの他、スプライン曲線によってモデルを表現する方法、ベジエ曲線やベジエ曲面によりモデルを表現する方法、スプライン曲線、ベジエ曲線およびベジエ曲面を一般化したNURBS(非正規化B-スプライン)によるモデリングなど、様々な方法が存在する。ここでは、比較的少ないパラメータで表現することができるベジエ曲面によるモデル化手法を採用した。

ベジエ曲面 $f(u,v)$ は次式で表される。

$$f(u,v) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 B_{i,3}(u) B_{j,3}(v) b_{ij} \quad (1)$$

$$(0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1)$$

ここで、 $B_{i,3}$ はBernstein関数

$$B_{i,3}(u) = \binom{3}{i} (1-u)^{3-i} u^i \quad (2)$$

であり、 b_{ij} は制御点である。糸の形状のような円柱状の曲面の場合、1断面あたり16点の制御点によってその形状を記述することができる。

織物中の任意の糸が1循環で n 本の糸と交錯する場合、最低 $2n+1$ 個の糸断面について、断面形状を表現する制御点座標を指定し、こ

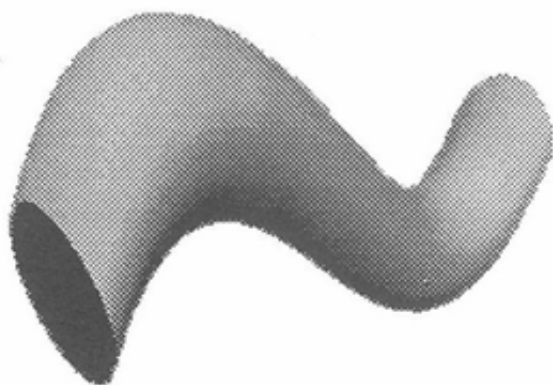


図2 ベジェ曲面で表現した屈曲した糸のモデル

これらの座標の集合よりベジェ曲面を作成することで、織物中での糸の立体形状を決定することが可能となる。図2にベジェ曲面で表示した糸の屈曲状態を示す。

2. 3 組織点での糸の座標算出

図3に示すように、織物の厚さ h に対して中間位置を基準面($x-y$ 平面)とすると、経浮きの場合における経糸の基準面からの距離は緯糸の半径 r_2 となるので、組織図から求めた糸の上下関係より、糸の座標を決めることができる。

組織点 (x,y) における経糸の z 座標 $z_1(x,y)$ は、

$$z_1(x,y) = r_2 S_1(x,y) \quad (3)$$

となる。ここで、 $S_1(x,y)$ は組織点 (x,y) における経糸の浮き沈み情報で、経浮きの場合には1の値を、経沈みの場合は-1の値をとるものとする。

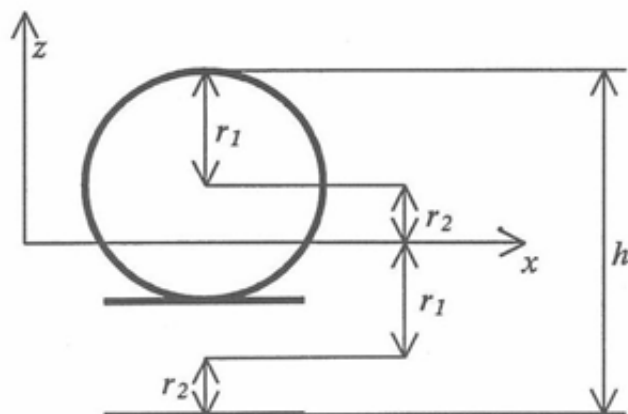


図3 糸の高さ方向位置と太さの関係

同様に、組織点 (x,y) における緯糸の z 座標 $z_2(x,y)$ は、

$$z_2(x,y) = r_1 S_2(x,y) \quad (4)$$

と表記される。 $S_2(x,y)$ は $S_1(x,y)$ と同様、組織点 (x,y) における緯糸の浮き沈み情報で、緯浮きの場合は1、緯沈みの場合は-1の値をとる。これにより、組織点での糸の座標を組織図から与えることが可能となる。

3. 組織点での高さ補正

三原組織などの平面的な織物については、上記の原理で糸の座標を決定することが可能だが、二重織などの多層構造組織については、組織図で示される糸の上下関係からのみ糸の座標を決めると、実際の織物では異なる高さに存在する糸でも同じ高さとして処理を行ってしまい、正しい織物の構造を表現することができない。そこで、組織点周囲の浮き沈み状態から、組織点における糸の高さ位置を補正する処理を加えることにより、同じ高さとして処理される状況を回避させるようにした。高さ位置の補正については池口・都筑による表面形状の推測方法⁴⁾を応用し、組織図から基礎レベルの予測と浮き糸数の影響補正処理を導入し、組織点の高さ位置の補正を行う。この場合、表面形状の推測では組織図の示している織物面からの視点のみを想定した処理となっているため、裏側に回っている糸についての座標は補正されない。このため、組織図を反転させ、裏側から見た場合での基礎レベルの予測と浮き糸数の影響補正処理を実施し、処理結果から経糸と緯糸ごとに補正項を分割することで、実際の高さ方向の座標補正值とした。

補正により、組織点 (x,y) における経糸の z 座標 $z_1(x,y)$ は、

$$z_1(x,y) = r_2 \{ S_1(x,y) + \alpha N_1 + \beta F_1 \} \quad (5)$$

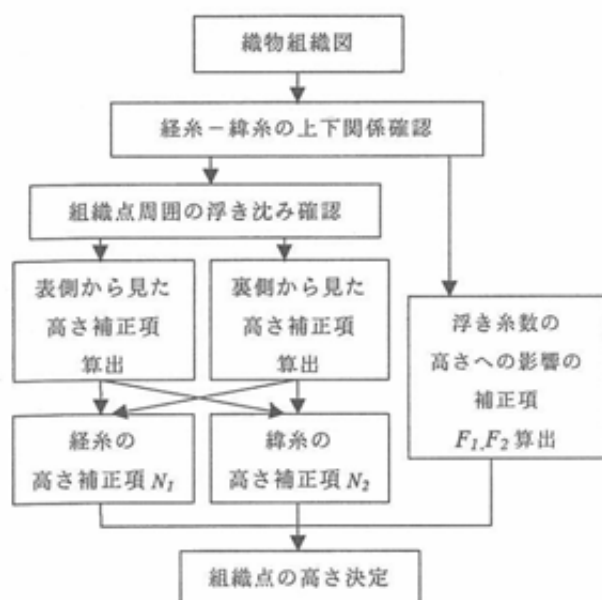


図4 高さ補正処理フロー

となる。ここで、 N_1 は経糸の基礎レベルの予測による補正項で、 F_1 は浮き糸数の影響に関する補正項である。同様に、組織点 (x,y) における緯糸の z 座標 $z_2(x,y)$ は、

$$z_2(x,y) = r_1 \{ S_2(x,y) + \alpha N_2 + \beta F_2 \} \quad (6)$$

となる。ここで、 N_2 は経糸の基礎レベルの予測による補正項で、 F_2 は浮き糸数の影響に関する補正項である。また、 α および β はそれぞれの補正項についての重み係数である。補正処理のフローを図4に示す。

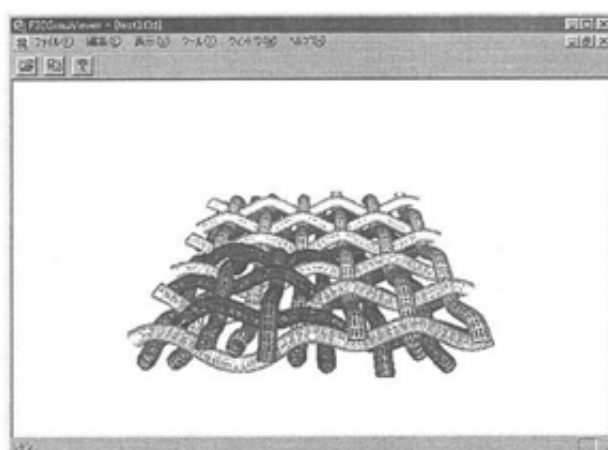
4. 結果と考察

4.1 実装

織物組織図から経糸および緯糸の座標を算出し、織物内の立体形状を表示するソフトウェアを作成した。ソフトウェアは組織図の入力とモデルデータの計算を行い、モデルデータファイルとして出力するモデラーと、モデラーによって出力されたモデルデータファイルを読み込んでレンダリング処理を行い、3次元表示を行うビューアの2つのプログラムから構成されている。プログラムの開発は、モデラー部の作成にMicrosoft Visual BASIC 6.0を使用し、ビューア部の作成にMicrosoft



(a)モデラー部



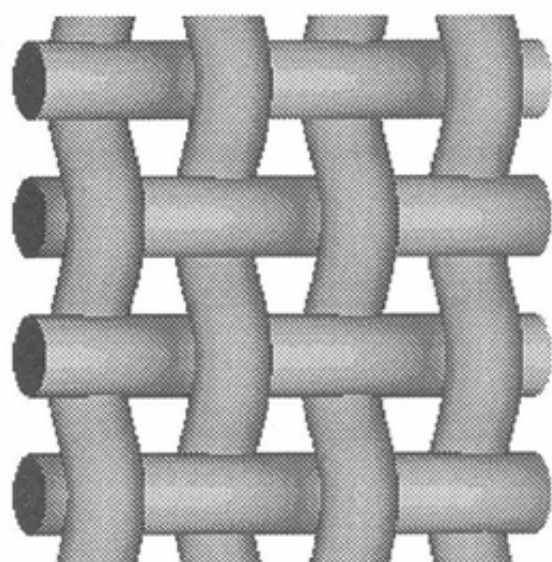
(b)ビューア部

図5 ソフトウェア表示画面

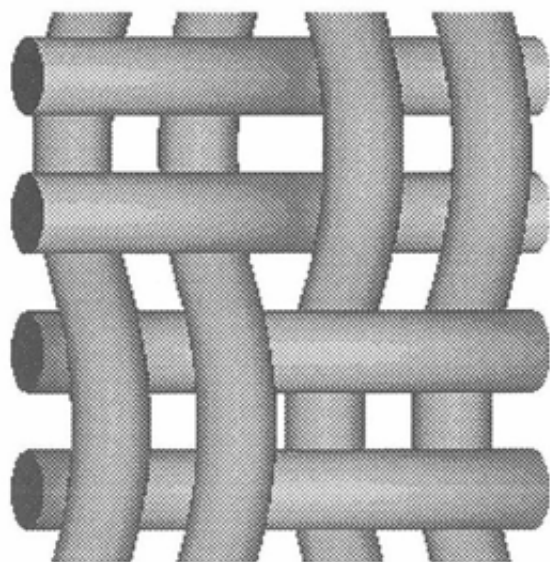
Visual C++6.0を使用した。また、ビューア部でのレンダリング・表示処理の実装には、3次元表示ライブラリの一つであるOpenGL ver1.1³⁾を用いることで、レンダリングに必要なとされる複雑な処理の開発工程を省略することが可能となった。開発したソフトウェアの表示画面を図5に示す。モデラー部については組織図入力編集機能と、糸の太さ、織密度などの織物規格条件の入力機能を有している。また、ビューア部ではモデルの画面上での回転角度を指定することができるとともに、マウスによる操作で回転や拡大・縮小を行うことができる。

4.2 動作確認

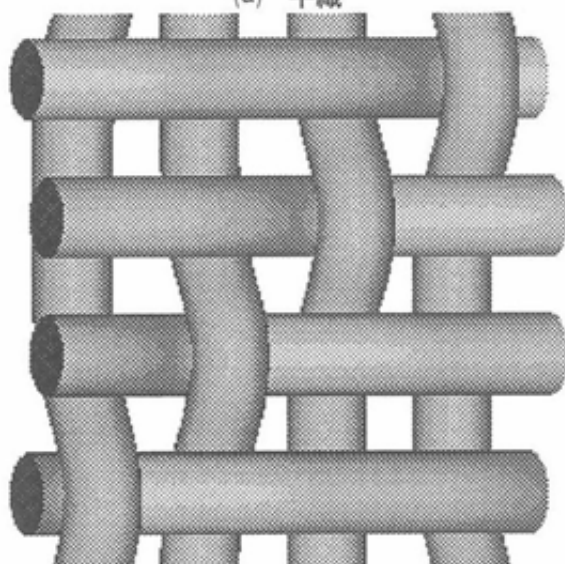
三原組織をはじめとする代表的な組織図を



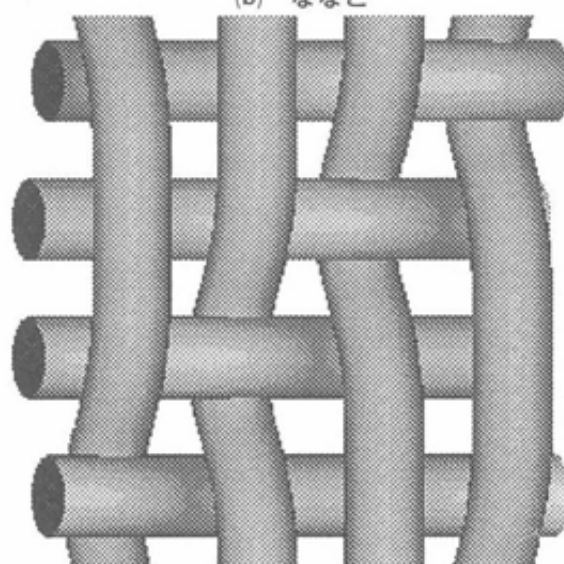
(a) 平織



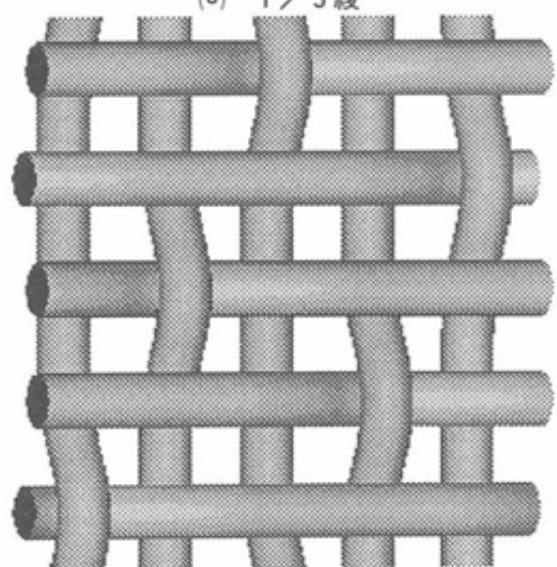
(b) ななこ



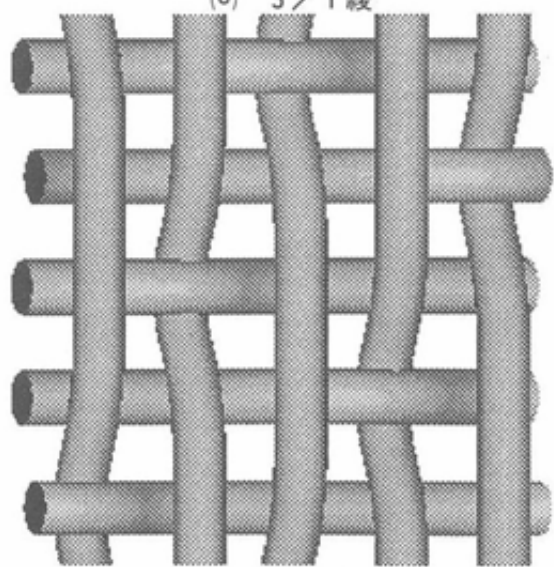
(c) 1/3綾



(c) 3/1綾

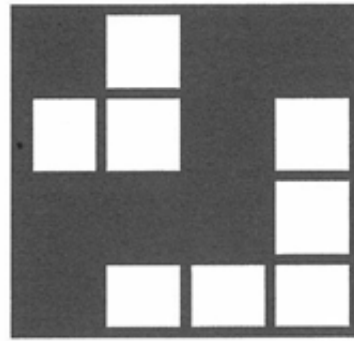


(d) 5枚よこ朱子

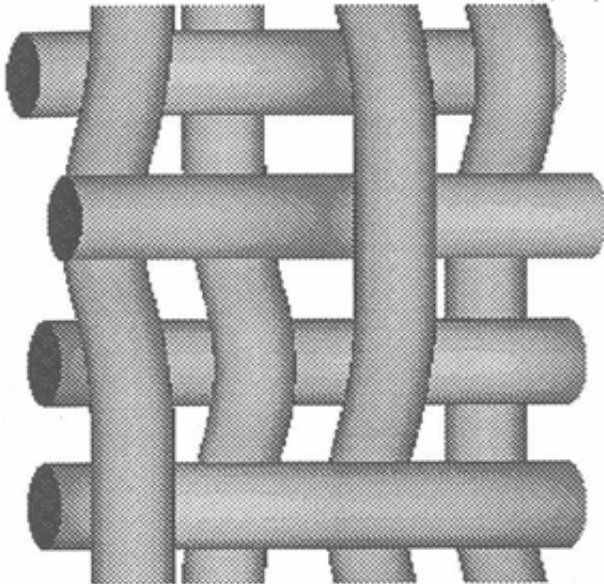


(e) 5枚たて朱子

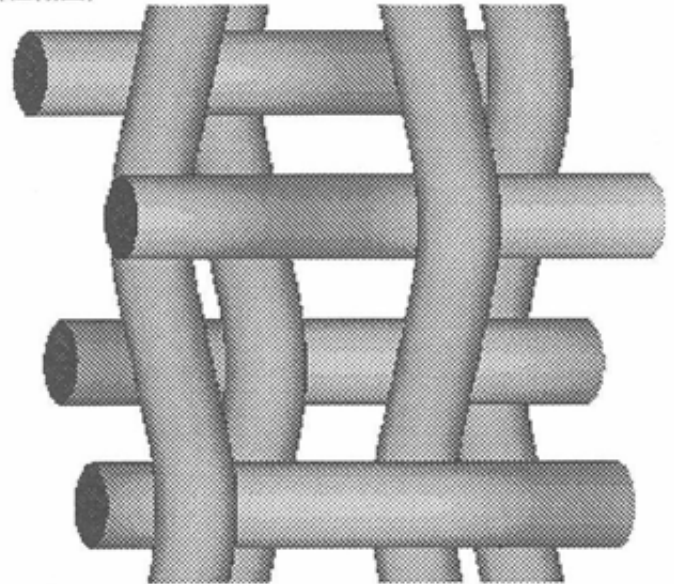
図6 3次元表示結果



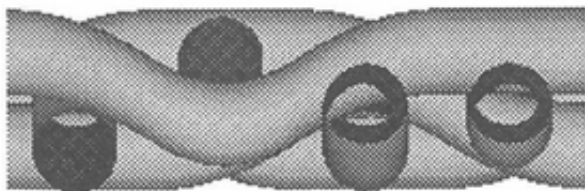
(a) 平二重 (組織図)



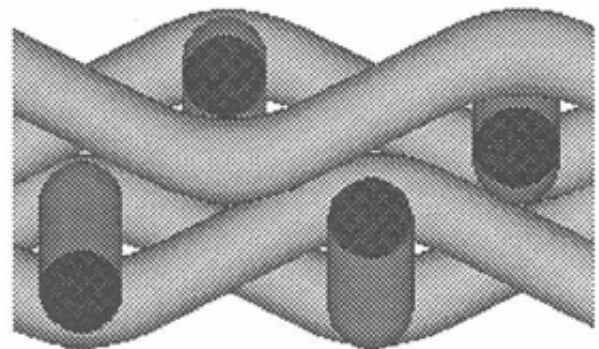
(b) 平二重 (補正なし) 正面



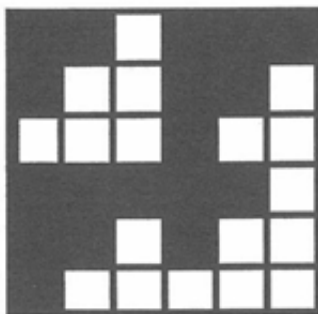
(c) 平二重 (補正あり) 正面



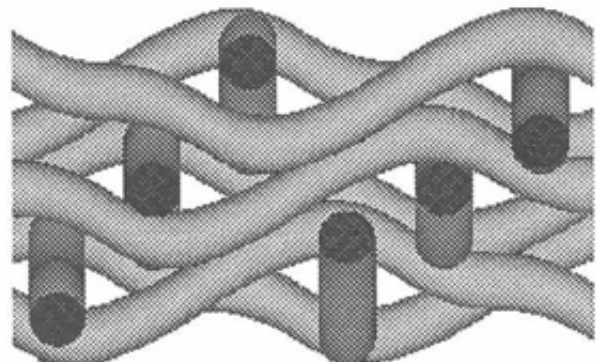
(d) 平二重 (補正なし) 側面



(e) 平二重 (補正あり) 側面



(f) 平三重 (組織図)



(g) 平三重 (補正あり) 側面

図7 多重組織の処理結果

入力し、作成したプログラムの動作確認を行った。

図6に三原組織およびなご組織についての処理結果を示す。組織図で示されている糸の上下関係に忠実に3次元形状が作成されていることが確認できた。

図7に多重組織の処理結果を示す。高さ補正処理を行っていない場合は表側、裏側の糸が同じ高さで処理されているのに対し、高さ補正処理を行った場合は表側、裏側の糸が層状に重なっている状態が表現されていることから、高さ補正処理の有効性が確認できた。

4. 3 問題点

平二重組織について、接結を入れた場合の処理結果を図8に示す。図8(d)の表面に接結糸が現れていることから、高さ方向の移動は表現できている。高さ補正処理の導入の結果、上下方向（織物の厚さ方向）に関する糸の移動については考慮できるようになり、多重組織などの複雑な組織の立体形状表現が可能となった。しかし、図8(f)に示すように、接結の部分は隣接する糸と融合し表現されている。実際の織物では、糸は高さ方向の移動だけでなく、横方向についても移動しているので、

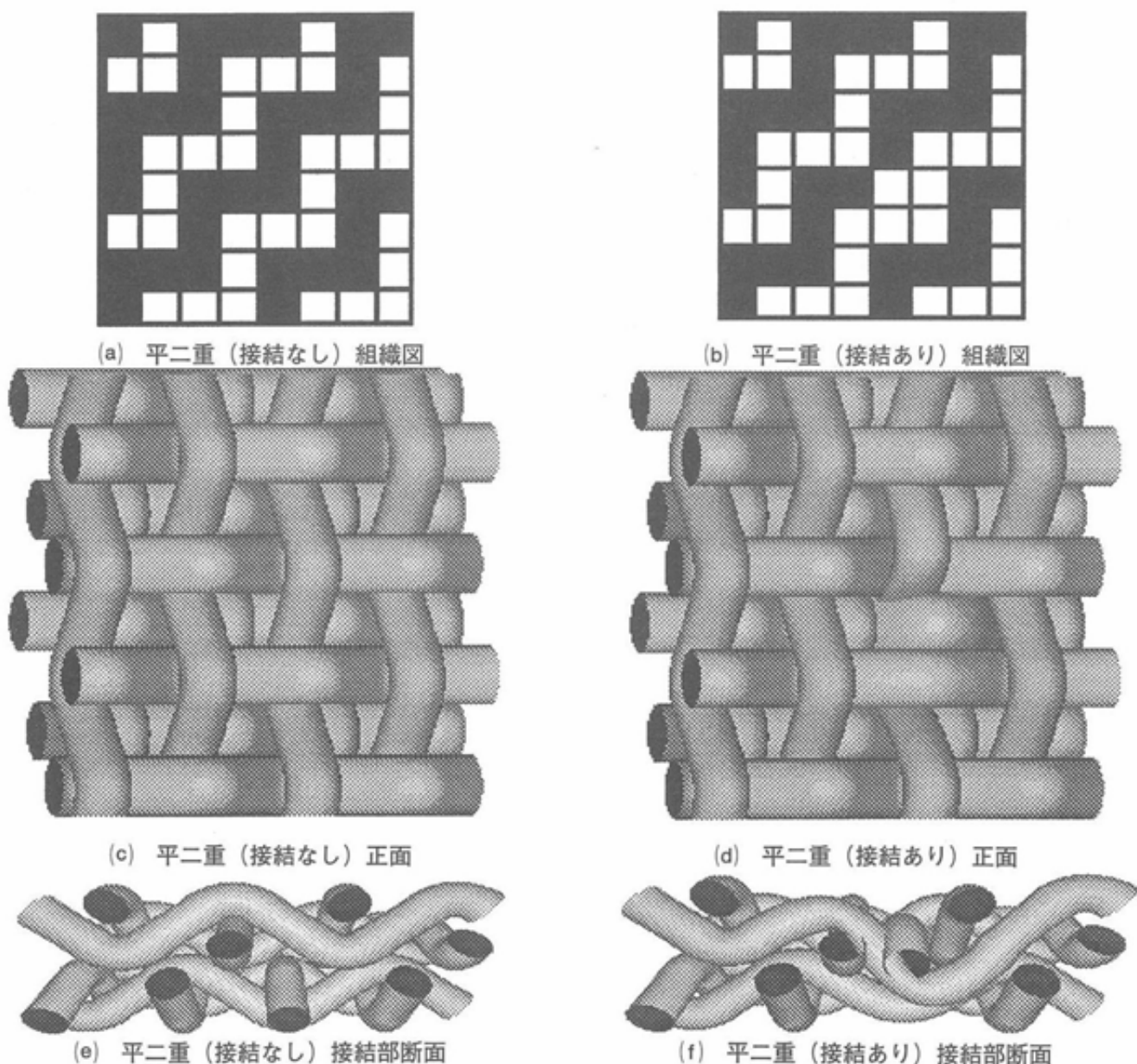


図8 接結の影響

横方向に関する糸の移動についても補正処理を加える必要があると考えられる。

5. まとめ

入力した組織図から織物構造を立体的に表現するプログラムを作成した。組織図から求められる糸の上下関係と、糸の太さ、織物密度などの情報から組織点での糸の座標を求め、その座標データを基に糸の形状をベジェ曲面で表現することで、織物中における糸の立体形状の表現が可能となった。また、組織点周囲における糸の浮き沈み状態から、組織点における糸の高さ位置を補正する処理を加えることにより、多層構造織物などの複雑な形状

の織物の場合でも、組織図から織物中における糸の座標を求めることが可能となり、組織図から多層構造織物の構造を立体的に表現することが可能となった。

参考文献

- 1) Liao, Adanur;Text. Res. J., **68**, 841 (1998)
- 2) Lin, Newton ; J.Text.Inst., **90**, 59 (1999)
- 3) 北川、古川、清水；第14回繊維連合研究発表会講演要旨集, p111
- 4) 池口、都筑；テキスタイル&ファッション, **16**, 4, 193 (1999)
- 5) "OpenGLプログラミングガイド第2版", アジソン・ウェスレイ(1997)