

服地・布の生成に関する研究動向

今岡春樹

繊維高分子材料研究所

柔軟物体の一つである、布の生成技法に関する研究動向について述べる。布の形状生成が困難であるとされている最大の原因は、布が柔軟物体であることにあるが、近年様々の分野でこの柔らかさを表現しようという研究が成されている。CGの分野では、布らしさをよりリアルに表現しようという目的で研究が行われている。CADの分野では、現実にある衣服を、3次元画像で表現しようという目的で研究が行われている。

Current Image Generation Techniques of Cloth Objects

Haruki Imaoka

Research Institute for Polymers and Textiles

1-1-4, Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

This paper describes current cloth objects generation techniques. To generate the natural shapes of cloth objects is difficult, because the cloth is a soft and deformable material. Many studies are done mainly in the fields of CG and CAD. The aim of the studies in the field of CG is to generate the typical shapes of cloth objects more realistically. The studies from CAD area are related to the representation of 3-dimensional shapes of real garments.

1 はじめに

我々の通常の生活で出会う物体は、個体、液体、気体に分類される。その中の個体は、剛体と柔軟体とに細分類することができる。例えば、室内にある物体を眺めてみると、テーブル、壁、家電製品等は剛体であり、衣服、カーテン、紙等は柔軟体である。柔軟体は、基本的機能として柔らかいことが要求されている。衣服の例でいえば、着脱したり、着用して動作したりするためには、柔らかさが必要である。

一方、物体が柔らかいということは、CGやCAD/CAMの構築という観点からは特別な意味を持っている。CGで布の様な柔軟体をリアルに表現しようとした時、剛体のように人工的に形状を作成しても、必ずしも自然な形状とは成り得ない。CADを用いて衣服の意匠設計を行おうとした時も同様のことが言える。柔軟であることが役立つ機能であるにもかかわらず、その形状予測は一般に困難である。例えば、布や紙をくしゃくしゃにしてテーブルの上に置くことを想像してみれば、その困難さが理解できる。このように柔らかさが有益である半面、形状予測が困難であることを「柔らかさの反逆」と呼んでみたい。

この柔らかさの反逆に対して、近年様々なアプローチが成されてきた。服地や布に限定して考えると、CGの世界からのアプローチとCADの世界からのアプローチを挙げることができる。この2つの流れの中で、最近の研究を概括することにする。

2 布らしさとは

服地や布という物体が視覚を通してリアルに見えるということはどういうことだろうか。人間が物から受ける感じあるいは情報とは何だろうか。このような設問は心理学の間であると思われるが¹⁾、少なくとも、物から受ける感じは、形(形態)、色(材質感)、動きによって左右されると考えられる。布らしさを計算機の画像として表現しよう

とすると、この3つの要因は共に重要である。

形については、柔軟体である布の自然な形状をどの様にして生成すれば良いかという問題となる。CGからのアプローチは、布らしい形とはどのような存在形態の時に最も典型的であるか、またその形状をいかにして生成するかが基本となる。例えばしわのよった形状などは布らしさの一つの典型である。CADからのアプローチは、衣服設計における衣服の形状を表現する場において、いかに本物と同様の情報を与えるかが基本となる。ここでは衣服がその対象となるため、人体に着用された存在形態が重要となる。

色については、布が糸を織ったり編んだりした物であり、その独特の材質感を表現することが課題となる。また布が平面状の物体であり、その色柄の表現も重要である。

動きについては、布が動いている場合、例えば旗のたなびきなどは布らしい一つの典型例であり、動画表現の重要な課題となる。

3 布の表現方法

布の表現方法としては、布が薄い物体であることを考慮して、3次元空間上の2次元物体(曲面)として扱うのが一般的である。空間座標(x, y, z)を布が存在する場所を示すものとする。布の形を記述するために、布に固着した曲線座標(u, v)を考える。(u, v)によって布上の点が定められ、それが空間上のどの位置にあるかがわかれば形が定まる。時刻をtで表せば、(1)式が布の形を表現する式となる。

$$\begin{aligned}x &= x(u, v, t) \\y &= y(u, v, t) \\z &= z(u, v, t)\end{aligned}\tag{1}$$

ここで、ある時刻に標準状態として $x = u, y = v, z = 0$ であったとして、(u, v)を直交座標として平面上の標準状態の座標と考えると便利である。この対応関係が明確であれば、テキスト

チャーマッピングの技法²⁾が直接応用できる。

(1)式を実際に表現しようとした場合、布は自由曲面であるため、関数表現よりは、離散的表現のほうが汎用性があり、有限個の点の対応が与えられ、その他の点の対応は補間によって与えられるのが普通である。そのため、4角形格子あるいは3角形格子で表現される。

4 CGからのアプローチ

CGからのアプローチは、自然物体の表現法³⁾の流れが中心と考えられる。

J. Weil⁴⁾は布の形と色についてリアリティを追求した研究を行った。布らしさの例題として、数点が固定されたゆるみのあるハンカチの表現を用いた。まず2次元上での数個の点については3次元座標値が定まっており、固定されているという条件のもとで、他の点の3次元座標値を求めるという問題設定になっている。すでに3次元座標値が求まっている数個の点を2次元上で結び、その線上の点については、3次元上のカタナリー曲線上にあるとして3次元座標値を求める。これを再帰的に繰返すことによって形状生成を行っている。色については、布を糸の集りとし、糸をある太さの円柱と考え、レイトレーシングを用いて表現している。ガーゼのように糸が密でない場合にリアリティがある。

D. Terzopolosら⁵⁾は、布のダイナミックな動きと剛体への接触問題を布らしさの例題として用いた。旗のたなびきや剛体の円柱や球が置いてある床にカーペットを敷いた場合を表現している。形状生成技法は、物理法則によるシミュレーションを基本としている。旗のたなびきのシミュレーションは、布の運動方程式を差分法で解くことによって実現している。接触問題に対しては、剛体の内部に布が入ろうとした時、外に押し出す力が働くような定式化を行っている。

安居院ら⁶⁾は、束縛条件の強い状況での、しわの発生を表現を試みた。腕を曲げた時に袖にできるしわを布らしさの例題とした。生成技法は、布

はたてよこの糸から構成されており、糸はほとんど伸び縮みしないという条件をなるべく満たす方向に形状を変化させて行くことを基本としている。袖にできるしわは、曲げによって縮む部分をもとの長さを保つために発生すると解釈される。さらに、しわの発生を時間的変化とともに表現することも示している⁷⁾。

宇田ら⁸⁾は、布が垂下した状態に着目し、スカートのドレープ形状を題材とし、その形状生成を行った。形状生成のための基本的考え方は、フラクタル手法による再帰的アルゴリズムである。スカートの横断線を考え、もとの長さになるまで、3角形の再帰分割を繰返し、ひだを生成している。

材質感に関しては、木元ら⁹⁾が布を糸さらに繊維とこまかく考えた研究を行っている。繊維の色の濃度をランダム・フラクタル法(中間点の濃度を線形補間+乱数で決める方法)により生成し、その集りとして糸の色の濃淡を生成している。濃淡のある糸を用い、布の織組織(平織、綾織等)から織物のテクスチャーを表現している。

形状生成の研究と材質感の研究はテキスチャーマッピングによって合流することができる。ただし、2次元と3次元との対応が明確なモデリングが行われている必要がある。

5 CADからのアプローチ

CGからのアプローチが布らしさの表現を重視したものであるのに比較して、CADからのアプローチは対象を衣服に限定し、その企画・設計工程の計算機化を目指したものである。CADにおいても、柔らかさの反逆に対するアプローチが最大の課題である。計算機による画像や図形の処理と言ってもその目的は使用する工程によって異なる。企画工程でのCADとしては、布地の設計を行うテキスタイルデザイン、デザインコンセプト作りを支援するファッションデザインがある。設計工程では、試作を代替するサンプルメイキングや立体裁断を代替するドレーピング用のCADを挙げることができる。柔らかさの反逆が最も顕著

に表れるのは、衣服を本来の3次元形状として表現せざるを得ない状況においてである。最近の3次元アパレルCAD^{10), 11)}と呼ばれているものは、まさに柔らかさの反逆に対するアプローチである。

加藤ら¹²⁾は、テキスタイルデザイン及びファッションデザインの研究を行っている。テキスタイルデザインでは、布が糸を織ったり編んだりしたものであること、染色された糸を使う先染め織物の色柄は糸の色と織組織によって決まることに着目している。グラフィックディスプレイのピクセルと糸がアナログ的な関係にあるためディスプレイ表示に適した応用例である。もちろん色の瞬時変更により色柄設計に直接応用できる。ファッションデザインでは、2次元画像のはめ絵手法を基本として、3次元の情報は明暗による立体感で与え、それらを合成して表示する研究を行っている。単なる2次元画像に較べてリアリティに大きな差がある。これを2.5次元と呼ぶことにする。

2.5次元の表現法としては、米国のComputer Design Inc.社のシステム¹³⁾が注目を浴びている。このシステムは、テレビカメラで撮影した衣服の実物画像から、陰影としわを保存したまま衣服の色柄を変更した画像が生成できるものである。

3次元のデータを持つテキスチャーマッピングの応用システムとして㈱二条丸八の自社システムがある。このシステムは、花嫁衣裳の図柄を衣裳

作成前に評価するのに用いられている¹⁴⁾。2次元と3次元の対応は実測によって求めているが、注目すべきシステムである。

テキスチャーマッピング手法による3次元上での色柄の設計手法としては安居院ら¹⁴⁾の研究がある。人体寸法の採寸から、原型(洋服を作る時の基本になる型紙)を自動的に作成し、さらにそれを立体化する。こうして生成された形状は人体の形状にほぼ一致する。2次元と3次元の対応が明確であるので、テキスチャーマッピングにより衣服作成前に色柄の評価を行うことができる。

今岡ら^{15), 16)}は、物理法則に従った衣服形状予測法の研究を行っている。形状生成技法は有限要素法によるシミュレーションを基本としている。スカートやブラウスにシミュレーションシステムを応用している。このシステムは、型紙の形状、布の力学特性、人体の形状、着付けの仕方の4つの情報を入力すれば、衣服の予測形状を出力する。2次元と3次元の対応は明確である。試作工程のCADシステムであり、型紙の変更で衣服の形状が変わるので、対話的に型紙の設計ができる。また、布の力学的性質の変更で衣服の形状が変化するため、素材の設計に利用できる。さらに、力学的手法を使っているため、衣服が人体に及ぼす接触圧を知ることができ¹⁷⁾、衣服のフィット性評価に用いることもできる。このシステムのスカートやブラウスへの応用例を2例ずつ示す。

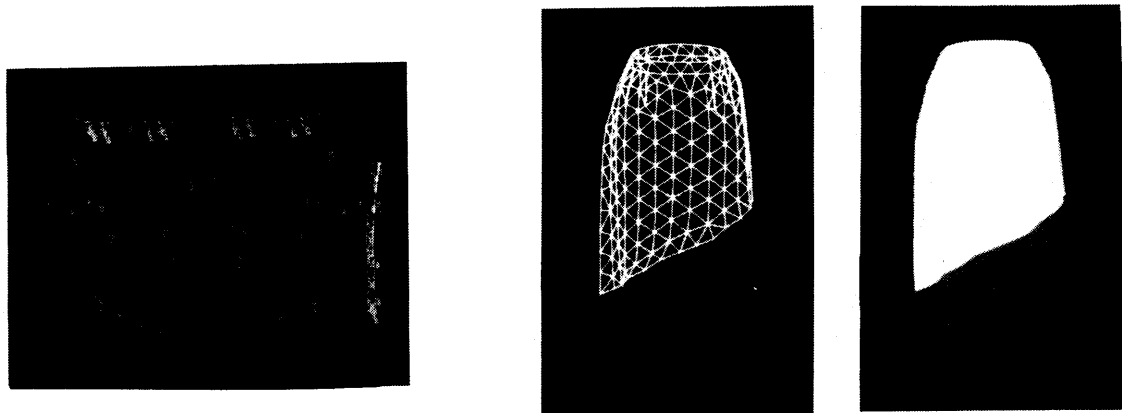


図1 スカートへの応用例(1)

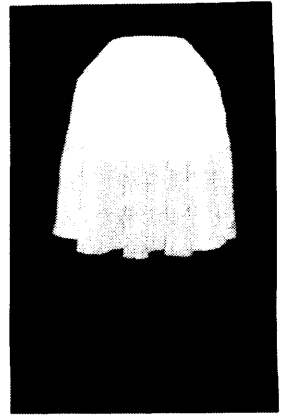
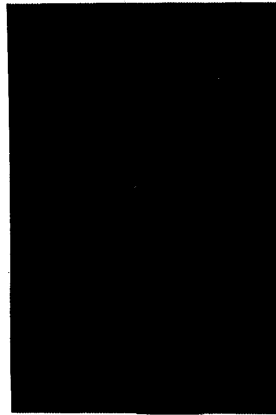


図2 スカートへの応用例(2)

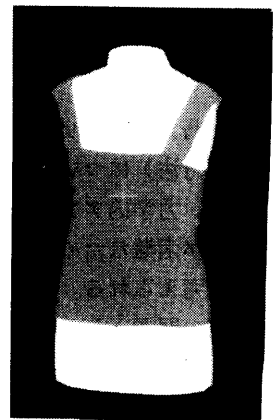
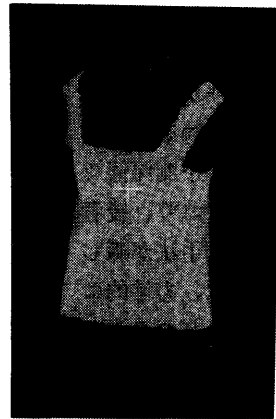
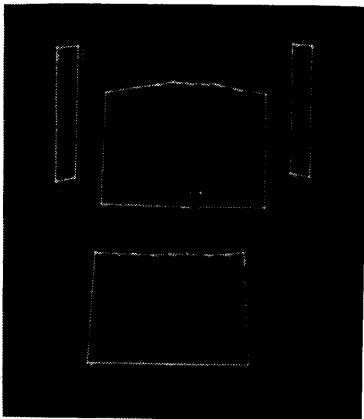


図3 ブラウスへの応用例(1)

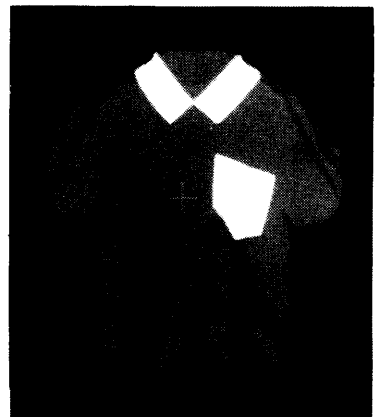
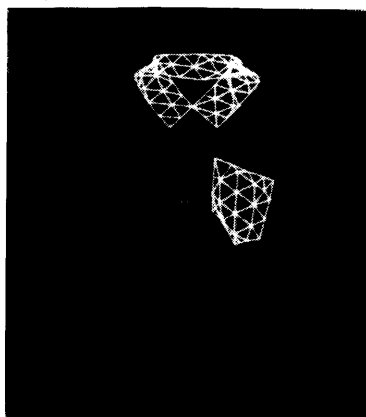


図4 ブラウスへの応用例(2)

6 おわりに

服地や布の生成技法の最近の研究成果を、CGとCADの2つの流れの中で解説してきた。説明の便宜上2つの流れを強調したが、実際は両者の目指す所は非常に似通っている。CGの目指す布らしさ・リアリティはCADに应用の場を見出すだろうし、また3次元CADからの要請も強いと思われる。両者が融合してより良いシステムが作られて行くことは疑いの無いところである。

布の形状の生成法には、幾何的なアルゴリズムによるものと力学的なシミュレーションによるものがある。この両者も接近し融合して行くと考えている。布らしさの典型例である、ひだ(ゆったりとしたドレープ)、しわ(拘束条件から生じる細かい凹凸)、ギャザー(強制的にしわをよせてから縫う方法)については、前者ほど予測可能であるため、力学的アプローチが適しており、後者ほど予測が困難なためアルゴリズム的な手法が適していると考えられる。しわについては、力学的にも後座屈の問題として興味もたれ、3つの山ができるしわについての力学的研究¹⁶⁾もなされている。

CADの立場から、今後の研究方向として、ギャザーのCGによるリアルな表現法をいかにCADに取り入れるか、自己接触問題(カーテンを一方に寄せた時布が布と接触するような問題)をいかに解くか等が重要と考えている。

参考文献

- 1) 穂山:「質感の行動科学」, 彰国社(1988)
- 2) J.F.Blinn, M.E.Newell: Texture and Reflection in Computer Generated Images, Communications of the ACM, 19, 10, 542/547(1976)
- 3) 中嶋, 安居院: CGによる自然物体の表現方法, テレビジョン学会全大, (1989)
- 4) J.Weil: The Synthesis of Cloth Objects, ACM SIGGRAPH'86, 20, 4, 49/54(1986)
- 5) D.Terzopoulos, J.Platt, A.Barr, K.Fleischer: Elastically Deformable Models, ACM Computer Graphics, 21, 4, 205/214(1987)
- 6) 安居院, 大川, 中嶋: 拘束条件の強い布地物体の表現, 信学春季全大, 2-258/286(1988)
- 7) 安居院, 西井, 中嶋: 変形過程における布地物体の表現, 信学春季全大, 6-359(1989)
- 8) 宇田, 鶴岡, 木村, 三宅: 被服の着装感表現, 第4回NICOGRAPH論文集, 249/254(1988)
- 9) 木元, 大野: テクスチャ・マッピングによる布の材質感表示, 情報処理第37回全大, 1685/1686(1988)
- 10) G.Waddell: Fashion design by computer, Apparel International, 14, 5, 5/7(1988)
- 11) 岡部, 今岡: アパレル・デザインのための3次元CAD最新動向, PIXEL, No.75, 163/168(1988)
- 12) 加藤, 近藤: アパレル産業におけるコンピュータグラフィックス, 情報処理, 29, 10, 1160/1164(1988)
- 13) J.Lewis: How industry is delivering the Quick Response, Apparel International, 14, 4, 5/11(1988)
- 14) 安居院, 金子, 中嶋: 電子計算機を用いた人台の3次元構成とその応用, 信学論文誌, J69-D, 3, 451/459(1986)
- 15) 今岡, 岡部, 別所: 衣服構造解析のためのモデリング, 精密機械, 51, 6, 22/27(1985)
- 16) 今岡, 岡部, 赤見, 渋谷, 相坂, 富羽, 山田: 衣服立体形状予測法, 繊維学会誌「投稿中」
- 17) 庭屋, 今岡, 渋谷, 相坂: 布の接触圧の予測法に関する研究, 繊維学会第3回計測と評価に関するシンポジウム, B-95/96(1989)
- 18) J.Amirbayat, J.W.S.Hearle: The complex buckling of flexible sheet materials, Int. J. Mech. Sci., 28, 6, 339/358(1986)