

## 対話的な応用を目指した布形状の表現

花見 有子<sup>1</sup>, 床井 浩平<sup>2</sup>

Web上の買い物サイトなど、実際に商品(洋服)を手にとることが出来ない買い物において選びやすい環境を整えるためには、実際の着こなし状態を再現できる試着シミュレーションシステムが有効である。本研究では、着衣形状のシミュレーションを対話的に行うことを目的とした布のモデル化を行った。提案手法は、頂点を質点とする三角形ポリゴンの集合として布をモデル化し、布の力学特性(張力, せん断, 曲げ等)をバネの弾性力や三角関数で簡単に近似するものである。また、衣服の最終的なフィッティング状態を高速に求めることを目的として処理を簡略化し、その際に各質点において合成される力に上限を設けることにより、処理の安定化を図る。

### An expression of cloth for the interactive application

Yuko Hanami<sup>1</sup>, Kohe Tokoi<sup>2</sup>

The fitting simulation system which can show an actual wearing shape is effective when we choose goods (clothes) at the shopping site on the Web which cannot actually take them. In this research, we developed a cloth model in order to perform the interactive simulation of the wearing shape. In the proposal technique we models cloth as a set of the triangle polygon which vertexes are used as mass particles, and approximates simply the dynamics characteristics (tension, shearing, bending, etc.) of cloth by the elastic power of a spring and trigonometric function. Moreover, its processing is simplified to accelerate the calculation of the final fitting state of clothes, and in that case, the processing is stabilized by limiting the force compounded in each mass particle.

#### 1. はじめに

Web上の買い物サイト, テレビショッピング, カタログ通販など, 実際に商品(洋服)を手にとることが出来ない買い物において, 着衣時のシルエットに留意して洋服を選択することは難しい。これを解消するには, 仮想空間上での試着シミュレーションが有効である。しかし, 現在 Web 上のショッピ

ングサイト等で用いられている試着シミュレーションは, モデルに衣服の 2D 画像をはめ込む簡易なものがほとんどであり, 大まかに再現することはできても, その服が自分にどのようにフィットしているのかを確認することは難しい。従って, 実際に商品を手にする事なくシルエットにこだわった洋服選びをするためには, M, L サイズなどのレディメイド服が個人の体型にど

1 和歌山大学システム工学研究科  
Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

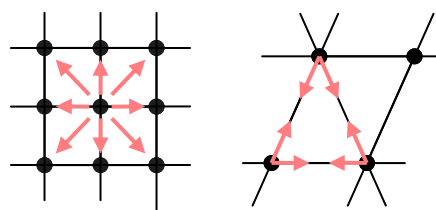
2 和歌山大学システム工学部  
Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

のようにフィットするかをシミュレーションできることが望ましい。そのためには着衣形状のシミュレーションを対話的に行えることが必要である。

現在、テキスタイルシミュレータの高速化について様々な研究がなされている。Choi[1]らは、半陰解法を用いて相互作用するパーティクルシステムモデルの動的シミュレーションを行い、大きなタイムステップで安定かつ高速なクロスシミュレーションを実現した。尾下ら[2]は、まず荒い粒子モデルで布形状の大まかな形を決定し、求められた粒子の位置情報を基に、粒子間に幾何学的に曲面を生成することで衣服の自然なアニメーションを高速に生成した。

一方で、布の力学特性をより精密にモデル化することで、リアリティのある布の挙動を再現する研究も行われている。三ツ井ら[3]は、実際に布の力学特性を計測し、従来のパーティクルモデルに非線形性と異方性を反映させることで、より現実に近い布の再現を行った。加えて厳密な剛体の衝突・反発処理を組み込むことで、衝突の瞬間に生じる反発力と回転モーメントを考慮したモデルを提案した。

本研究は、ユーザーの詳細な体型データを反映させたモデルを用いて、レディメイド服の着こなし(フィッティング)状態を再現する 3D 試着シミュレーションシステムへの応用を目的とした布の力学的要素の表現に簡単なモデルを用い、最終的な衣服形状を高速に求めることを重視した計算の簡略化を行うことによって、対話的な応用が可能なシミュレーションの開発を目指す。



(a) 格子状に配置 (b) 三角形ポリゴン

図 1 パーティクルモデル

## 2. 布のモデル化

布のシミュレーションを行う場合、相互作用し合うパーティクルモデル(粒子系モデル)が有用である[1]。布は縦糸と横糸が織り込まれた構造となっていることから格子状に配置した質点(パーティクル)の集合としてモデル化され、各質点間を接続するバネの弾性力で布の力学特性(張力, せん断, 曲げ等)を近似することで布らしい動きが表現される(図 1(a))。

### 2.1. 三角形ポリゴンを用いたパーティクルモデル

パーティクル間の結合の表現には、前述の格子状のモデルの他に、三角形ポリゴンを用いる手法がある[4]。本研究では、一般的な形状モデラにより作成した衣服形状が容易に利用できるように、頂点を質点とする三角形ポリゴンによる表現を採用する(図 1(b))。

### 2.2. 布の内部力

布形状をシミュレートする際に重要となる力学特性として、張力, せん断, 曲げが挙げられる(図 2)。張力は布の繊維方向の伸張・圧縮に対する抗力であり、せん断は布の斜め方向の伸びに対する抗力である。また曲げは布の曲げ変形に対する抗力である。本研究では、これらのうち張力およびせん断をバネによる弾性力で近似し、曲げを三

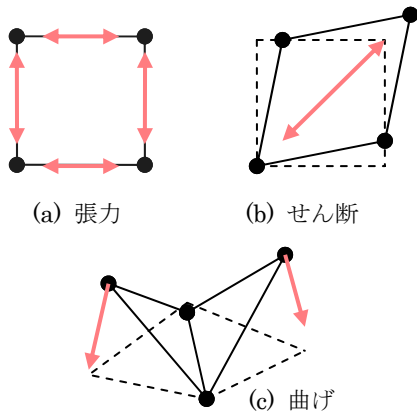


図 2 布の力学特性(内部力)

角形間の角度に基づき三角関数により近似して、簡単に布形状のシミュレーションを行った。このように布の力学特性である張力・せん断と曲げを別々にモデル化することで、伸びに対する抵抗の大きさにかかわらず大きな曲げ変形が可能となる[4]。

(a) 張力, せん断

張力は、伸張・圧縮による変位から自然長に戻ろうとする力で(図 3)、三角形ポリゴン内の各頂点間で互いに作用し合う。ここでは初期形状における長さを自然長とする。図 4 のグラフは、三ツ井ら[3]によって計測された布の伸長のひずみに対する回復力を基に、布の張力を二次関数で近似したものである。縦軸の  $f$  は張力(回復力)、横軸の  $r$  は二点間の距離( $r > 0$ )、 $L$  は自然長である。

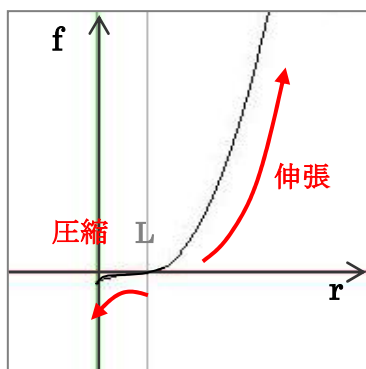


図 4, 二次関数による張力の近似

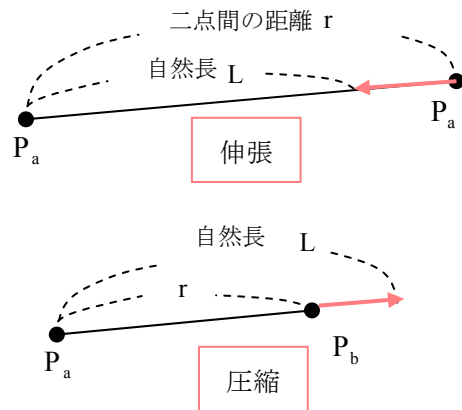


図 3 二頂点間の変位による張力

$r < L$  のとき伸縮が、 $r > L$  のとき伸張が起こる。回復力は伸張・圧縮に相乗して増加・減少し、また伸張と圧縮に対する回復力の間には対照性はなく、伸長ひずみに対する回復力に比べ圧縮ひずみに対する回復力は小さい[3]。これらのことから、縮んだとき係数を小さく、伸びたときの係数を大きく設定する。

また、布は繊維方向にはあまり伸びず、斜め方向によく伸びるという性質を持つ。これは布の縦糸と横糸とが織り込まれた構造によるものである。これらの伸びに対する抗力をバネで近似し、特に張力のバネ定数を大きくすることで必要以上の伸びを防ぎ、繊維方向には伸びないという布の特徴を表現することができる。

(b) 曲げ(布のはり)

布は曲がりやすく、そのことが布特有のしわやひだを形成する一因となっている。この曲げ変形に対する抗力を、隣接する三角形間の角度に基づく三角関数で簡単に近似する。図 5 は隣接する二枚の三角形ポリゴンを真横から見た断面図である。各三角形ポリゴンの法線  $n_1, n_2$  のなす角度を  $\theta$  とすると、三角形の曲げを元に戻そうとする回復トルク  $N$  は  $\theta = 180^\circ$  のときに最大と

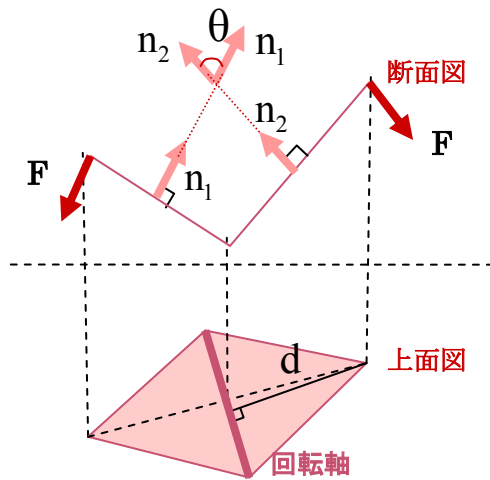


図 5, 折れ曲がった二枚の  
三角形ポリゴンの断面図

なると考えることができる。この回復トルク  $N$  を、余弦を用いて次のように求める。

$$N = c(\cos \theta - 1.0) \quad (1)$$

ここで  $c$  は曲げ定数である。面の法線は布データの読み込み時に既に取得している。また  $\cos \theta$  の値は、二つの三角形の法線の内積から容易に求められる。一般に物体を回転させるために必要な力は、回転軸からの距離に反比例することから次式のようになる。

$$F = N/d \quad (2)$$

ただし  $F$  は物体に加わる力、 $N$  は回転力(トルク)、 $d$  は回転軸から力が加わる点までの距離である(図 5)。以上より、三角形ポリゴンの曲げ変形から回復しようと両端点にかかる力を次のように求められる。

$$F = c(\cos \theta - 1.0)/d \quad (3)$$

この曲げに対する抗力を強めることで綿のようなはり感を、弱めることでシルクの

ような軟らかい材質を表現する。

### 2.3. ヒステリシス

ヒステリシス(履歴現象)とは、一般に物質や系の状態がそれまでたどってきた経過に依存することである。布の場合のヒステリシスは、力が加わりある程度伸びた後で力が弱められたとき、完全に元に戻らず、伸びた形状をある程度維持する現象である。本研究では、張力を二次関数で近似していることから、グラフ上で自然長からの伸縮差が 0 のとき傾きも 0 となる。そのため、わずかな伸びであればほとんど力が加わらず、わずかに伸びた状態で動きが止まる。これが本研究のモデルにおいてヒステリシスのような効果をもたらしている。

### 3. 外部力

着衣布形状のシミュレーションでは、布内部の力学特性以外にも外部から加わる力が想定される。重力、空気抵抗、衝突による摩擦力と反動力、体が動いたときの力などである。

本研究では、各質点にかかる重力を一定とする。布を構成する頂点数で布全体の重さを割り、各質点にかかる重力を算出する。また空気抵抗、身体が動いたときに働く力は考慮しない(4 節参照)。一方、摩擦力と反動力を実装するには、衝突判定が必要となる(5 節参照)。

### 4. 力の統合

これまでに求めてきた布の力学特性と重力を統合し、各質点にかかる力を求める。本研究で目指す試着シミュレーションシステムでは、衣服の最終的なフィッティング状態を出来るだけ早く求めることを目的とする。本来ならば求めた力から速度、加速

度を求め、次の時点での位置を求めるところを、力を変位量としてそのままダイレクトに位置に足し加えていくことにより、時間的変化を求めずに出来るだけ早く力が 0 となる静止状態に到達することを目指した。そのため、計算の途中経過をアニメーションとして表示することは可能であるが、その動きは必ずしも物理的に正しいとは言えない。また、時間的変化を正確に求めることを目的としないため、空気抵抗や風などによる外力については考慮しない。

また力を変位量としてそのままダイレクトに位置に足し加えていくという本手法では、時間的変化を考慮した場合には考えられない大きな力がかかってしまうため、形状が破綻してしまうという問題が生じた。これを解決するために、各質点にかかる力が一定以上に達したとき、外力(重力)より少し大きい力に置き換えることにより力に制限を加え、形状の破綻を防いだ。

## 5. 衝突判定

モデルに衣服を着せたときの着衣形状をシミュレーションする場合には、衣服とモデルの身体、あるいは衣服同士の衝突を考慮しなければならない。

本研究では Z バッファを用いて、前、後ろ、真上からそれぞれ奥行き値(z 値)を取ることによって衝突の検出を容易にし、処理の簡略化を図る。また、布同士の衝突には空間分割を用いる。大まかに分割された空間のうち、どこに存在するかを動的な情報として持つことで、衝突判定を行う対象を絞り込むことができ、判定が容易になる。この衝突判定の結果から、摩擦力と反動力を導入する。

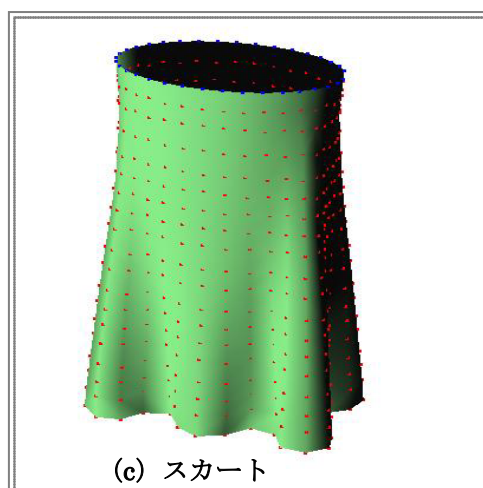
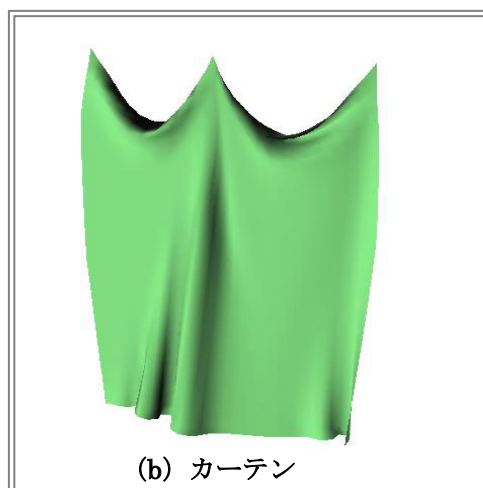
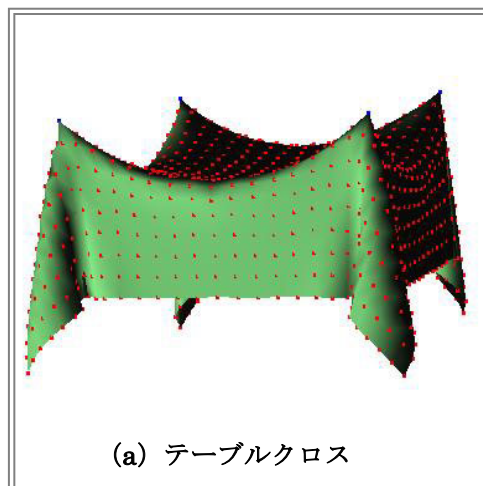


図 6, シミュレーション結果

## 6. まとめ

本研究では、頂点を質点とする三角形ポリゴンを用いて、力学的特性を考慮した布のモデル化を行った。提案したモデルは、非常に簡単な力学特性の近似によって、布らしい形状を得た(図 6)。また、最終的な着衣形状をできるだけ早く求めることを目的として、力を移動量として直接位置に加えていたことにより時として発生していた計算の破綻を、外力(重力)との関係を考慮した制限を設けることによって安定させた。

しかし、一定以上に細かく分割された布のシミュレーションにおいては、まだ対話的に応用できるほど高速ではなく、更なる工夫が必要とされる。

今後は衝突判定を実装し、肌と布との摩擦の要素を加えることにより、より幅広いシミュレーションを目指す。また、今回触れなかった布の異方性については、繊維方向の情報を持たせたテクスチャを適用することによって実装できるのではないかと考えている。

## 参考文献

- [1] Kwang-Jin Choi, Hyeong-Seok Ko, “Stable but Responsive Cloth”, In Proceedings of SIGGRAPH 2002, ACM Transaction on Graphics, 21, 3, 604-611, 2002.
- [2] 尾下真樹, 牧之内顕文, “実時間衣服シミュレーションによる仮想試着システムの実現”, Visual Computing / グラフィックスと CAD 合同シンポジウム 2003 予稿集, pp.153-158, 2003.
- [3] 三ツ井茂, 駒井太樹, 戴曉群, 古川貴雄, 高寺政行, 清水義雄, 橋本稔, “布の力学特性における非線形性と異方性を反映

したパーティクルモデルとその衝突・反発メカニズム”, 映像情報メディア学会誌 Vol.54, No.12, pp1762~1770, 2000

- [4] Daivid Baraff, Andrew Witkin, “Large Steps in Cloth Simulation”, In Proc. Of SIGGRAPH 98, pp. 43-54, 1998.