

## 毛糸のモデルに基づくリアリティのある編み物

西川 雅智 守田 了

山口大学工学部

宇部市常盤台 2557

morita@kde.yamaguchi-u.ac.jp

CG で作成された人物を表現するために衣服の表現は不可欠である。CG で作成された布には動きに応じて皺ができるため、簡易なシミュレートではその動きが不自然になり、リアリティに乏しくなる。編み物は毛糸が複雑に絡み合っているため、テクスチャマッピングではリアリティのある質感を出すことは困難である。このことから編み物の質感を出す研究はリアリティのある人物表現のために重要な研究の一つになっている。

本研究では一般に広く使用されている編み方を示す符号表をもとに、計算機上の仮想空間に編み物を生成する手法を提案する。実空間で編み物を生成する場合と同様に仮想空間上に生成された毛糸を引っ張り込むことにより、編み物を作成する。編み物を実際に編まなくても符号表があれば、作成前にできあがりを想像することができるため有効である。また毛糸の種類や色を変えて同じ編み物を作成した場合の仕上りを作成前に想像することができるため有効である。実際に仮想空間において代表的な各種の編み方に基づくマッパを作成し有効性を示す。

キーワード 編み物, 変形モデル 毛糸のモデル

## Realistic Knitwear Based on Knitting Wool Model

Masatomo NISHIKAWA and Satoru MORITA

Faculty of Engineering, Yamaguchi University

2557 Tokiwadai, Ube, 755, Japan

It is important to refine the cloth representation for realistic virtual human. It is difficult to simulate the cloth simply because of generating the wrinkle while the cloth moving without physics model. On the other hand, it is difficult to use the texture mapping because many knitting wools exist in a small region.

In this paper, we propose the method generating the knitwear in virtual environment by adding the force to virtual knitting wear. Without knitting the knitwear in real world, we can imagine the knitwear products from the knitting table. We show the effectiveness to generate the mufflers actually on virtual environment using some knitting method.

keyword: Knitwear, Deformable Model, Knitting Wool

# 1 はじめに

CG で作成された人物を表現するために衣服の表現は不可欠である。しかし、CG で作成された布には動きに応じて皺ができるため、簡易なシミュレートではその動きが不自然になり、リアリティに乏しい衣服になってしまう。近年物理モデルにしたがったリアリティのある布の表現が提案されるようになり、盛んに CG アニメーションなどに使用されつつある [1][2]。布の表面にテクスチャマッピングをすることにより、布の質感を出すことが行われている。しかし光などの影響による変化が出ていくため、画像を生成する場合には有効であるが、動画を作成する場合は光ごとのテクスチャを生成する必要になるためリアリティのある動画を生成することは困難である。

編み物は毛糸を編み込んで作られるため、CG でモデリングすることが困難である。そのため編み物の表面に写真に撮られた編み物をテクスチャをマッピングする方法が考えられる。しかし、この方法では毛糸の表面の質感が光の位置の変更に応じて現れないためリアリティに乏しくなる。編み物はその質感が毛糸の絡み合ってテクスチャが出来上がっているため、テクスチャマッピングではリアリティのある質感を出すことは布以上に困難である。このことから編み物の質感を出す研究はリアリティのある人物表現のために重要な研究の一つになっている [3]。さらに機械編みの質感以上に手編みの質感を出すことは困難である。

本研究では一般に広く使用されている編み方を示す符号表 [4] をもとに、計算機上の仮想空間に編み物を生成する手法を提案する。編み物を実際に編まなくても符号表があれば、作成前にできあがり想像することができるため有効である。また毛糸の種類や色を変えて同じ編み物を作成した場合の仕上りを作成前に想像することができるため有効である。

## 2 毛糸と編み物の表面のモデル

手作業で毛糸を編みこむことにより手編みの質感ができる。本研究では手編みの質感をだすために、実際に手作業で編むことと同じように、毛糸のモデルを仮想空間で力をかけて動かすことにより、編みものを作成する。毛糸のモデルを以下のように定義する。

1本の毛糸は細い毛糸が巻き付けて作られている。そこで複数の毛糸を巻き付けた糸を毛糸とする。糸の太さは極細、合細、中細、合太、並太、極太、超極太に分けられる。また色には多様な色が存在する。また編む際には

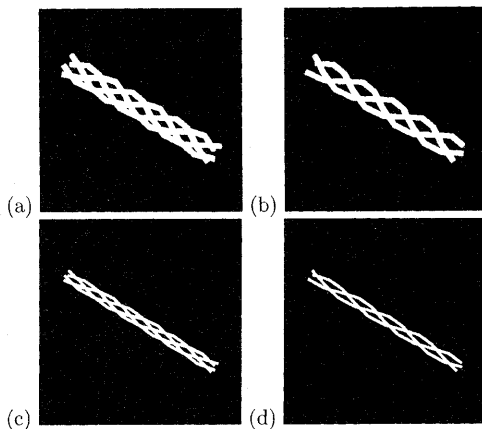


図 1: 毛糸の種類 (a) ラセン半径 0.3, 4本の糸 (b) ラセン半径 0.3, 3本の糸, (c) ラセン半径 0.15, 3本の糸, (d) ラセン半径 0.15, 4本の糸

ゲージが指定されている。例えば、ゲージメリヤス編み 20目 26段=10cm 角と表示があれば、指定の糸と針を使い、指定の編み方で編んだ 10cm 角の中に 20目 26段の目数がある。毛糸は複数の糸がラセン状に巻かれた構造になっている。そこで本稿でも毛糸を複数の糸がラセン状に巻かれた構造とする。毛糸の種類はラセンの半径と何本の糸を使うかで決定する。図 1(a)(b)(c)(d) にそれぞれラセン半径 0.3, 4本の糸、ラセン半径 0.3, 3本の糸、ラセン半径 0.15, 3本の糸、ラセン半径 0.15, 4本の糸を示す。

雑音のある画像から特定の輪郭を見付けるために S-NAKESモデルが提案されている [1]。これらの方法は表面に拡張されている [2]。これらのモデルにしたがって、毛糸および編み物の表面にかかる力に基づく毛糸および編み物の表面のエネルギー式を以下のように定義する。

$$\mu \frac{\partial^2 r}{\partial t^2} + \gamma \frac{\partial r}{\partial t} + \frac{\delta \epsilon(r)}{\delta r} = f(r, t) \quad (1)$$

$\mu$  と  $\gamma$  はそれぞれ点  $r$  での質量密度と減衰定数であり、ベクトル  $f$  は時間  $t$  において  $r$  にかかる外力である。毛糸の場合は  $r(s) = x(s), y(s), z(s)$  であり、編み物の表面では  $r(u, v) = x(u, v), y(u, v), z(u, v)$  と表される。そして、 $\frac{\delta \epsilon(r)}{\delta r}$  は伸縮性の変形  $\epsilon(r)$  によって導かれる内部エネルギー式である。

$$\epsilon(r) = \int_{\Omega} (\|G - G^0\|_{\alpha}^2 + \|B - B^0\|_{\beta}^2) da_1 da_2 \quad (2)$$

距離テンソルと曲率テンソルにおいて、変形状態と静止状態の力のノルムの差をとる。この方法により表面の伸

縮性エネルギーがより正しく推定され、様々な表面の形状にエネルギーを与える。

$$\epsilon(r) = \int_{\Omega} \Sigma_{ij} (\eta_{ij} (G_{ij} - G_{ij}^0)^2 + \xi_{ij} (B_{ij} - B_{ij}^0)^2) da_1 da_2 \quad (3)$$

$\eta_{ij}, \xi_{ij}$  は伸縮性パラメータを示す。内部エネルギー  $\frac{\partial \epsilon(r)}{\partial r}$  は以下のように計算される。

$$\frac{\partial \epsilon(r)}{\partial r} = \Sigma_{i,j} \frac{\partial}{\partial a_i} (\alpha_{ij} \frac{\partial r}{\partial a_j}) + \frac{\partial^2}{\partial a_i \partial a_j} (\beta_{ij} \frac{\partial^2 r}{\partial a_i \partial a_j}) \quad (4)$$

$$\alpha(a, r) = \eta_{ij}(a) (G_{ij} - G_{ij}^0) \quad (5)$$

$$\beta(a, r) = \eta_{ij}(a) (B_{ij} - B_{ij}^0) \quad (6)$$

未知数  $G_{ij}$  は表面の伸縮性に関係し、 $B_{ij}$  は曲率に關係しているため、これらの未知数と外力に抵抗する表面の動きによって布の形状の変形が導かれる。内部エネルギー式を有限差分法を使って解く。

$$M \frac{\partial^2 R}{\partial t^2} + C \frac{\partial R}{\partial t} + K(r)R = F \quad (7)$$

$M$  はそれぞれの要素の質量密度を表す対角行列であり、 $C$  はそれぞれの要素の減衰値を示す行列である。 $F$  は  $(r, t)$  により計算されたそれぞれの要素に働く外力を含む行列である。本研究ではこのモデルに従い、毛糸と編み物の表面の動きを作る。

### 3 符号図を用いた編み物の生成

編み目を記号にしたものが編み目記号である。記号はすべて編み地の表側から見た操作が書かれている。図2に示すように表目を |, 裏目を -- で表す。符号図は編み目記号と組み合わせて編み地を表したものである。符号図を用いればどんな複雑な編み地も編むことができる。まず表目と裏目だけで編める編み物を実際に作成する。表目を編むことを表編みといい、表編みで編んだ編み地をメリヤス編みという。ガータ編みは表編み1段、裏編み1段を交互に編んだものである。ゴム編みはセーターのすそやそで口、えりぐりなどによく使われる編み地である。表目1目裏目1目を繰り返したものを1目ゴム編み、表目2目裏目2目を繰り返したものを2目ゴム編みと呼ぶ。かのご編みは表目1目裏目1目を繰り返すが、段差を与えて編んだものである。

編み物を生成するためには、編み糸が編む過程で通過する軌跡に応じて軌道点リストと目標点リストを作成し、順に編み糸が目標点のリストにある点を通るよう力を加えていく。図3に表目を作る際の通過点リスト(下の三角の頂点)と目標点リスト(上の三角の頂点)

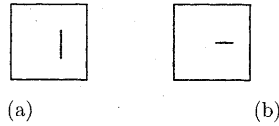


図2: (a) 表目と (b) 裏目の編目記号

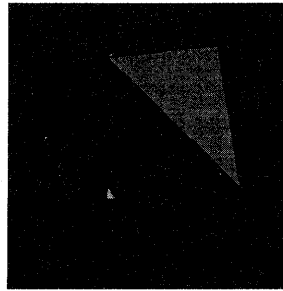


図3: 表目を作る際の通過点リスト(下の三角の頂点)と目標点リスト(上の三角の頂点)

を示す。裏編み用にも同様の通過点リストと目標点リストを生成する。このリストを用いて編み物を進める方向に移動していくことにより、編み物は自動的に生成される。編み方の多くは表目と裏目を用いており、表目は裏目の反対側からみたものと同様になるため、表目を作成できると表目と裏目から作成できる代表的編み物が生成できる。

符号図から各編み物を再帰的に繋げて作れる最小単位の編み物を生成する。符号図を最小単位の編み物を合成して作れる最小単位の編み物の合成として定義する。そのためまず最小単位の編み物を生成する。表目と裏目のみを用いて作成できるメリヤス編み、かのご編み、ガータ編み、一目ゴム編み、二目ゴム編みの最小単位の編み物を作成する。編み物は鎖編みで目を作成した後表編み裏編みをしていくため、鎖編みで目作りをした後に最小単位の編み物を作成する。図4(a)(b)(c)(d)(e)にメリヤス編み、かのご編み、ガータ編み、一目ゴム編み、二目ゴム編みに必要な編み込みの最小単位の符号図を示す。最小単位を上方向横方向に、再帰的に繰り返して編み物を生成することが可能である。編み方の順番に目標点リストと通過点リストを更新していくことにより編み物が生成される。このようにして作成された図4に示す符号図をもとに、鎖編みで目作りをした後、編んだ最小単位のメリヤス編み、かのご編み、一目ゴム編み、二目ゴム編

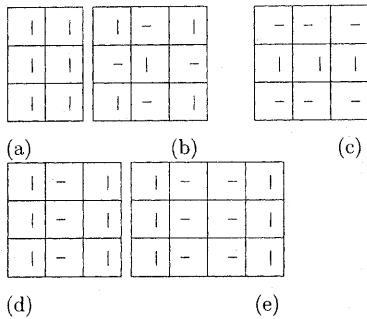


図 4: (a) メリヤス編み (b) かのご編み (c) ガータ編み (d) 一目ゴム編み (e) 二目ゴム編みに必要な編み込みの最小単位の符号図

みの編み物をそれぞれ図 5(a)(b)(c)(d) に示す。ここでは毛糸として図 1(c) に示したラセン半径 0.15, 3 本の糸の毛糸を用いている。

次に編み物の変形について述べる。編み物は布のように自由に変形するにもかかわらず、編み物に変形しても編み物の各目は大きく変形しない。このため作成した編み物を布のように変形するモデルと定義する。布のモデルは前述のエネルギー式にしたがって変形する。図 6には基本符号表から生成される編み物全体の編み物マップが書かれている。まず最小単位の編み物を 1 から 9 の領域に分け、生成された編み物を領域に分類する。0, 1, 2 の部分が鎖編みの部分に対応し、3, 4, 5, 6, 7 は 2\*2 の表編みの部分に対応する。作成された編み物を 0 から 9 の番号表に分類し、編み物全体を各番号の領域に分類する。実際に編む場合には、編み物の大きさの目安であるゲージに合わせた編み方が重要であるが、編み物を作成した後で表面にマップすることが可能であるため、仮想空間で編み込む本研究ではゲージの問題はこの時点で調節することが可能である。編み物の各番号に対応するパッチを用いて、編み物の表面を作成する。このように生成された編み物表面に力を加えることにより編み物表面の自然な皺の動きが生成される。表面の動きにしたがって毛糸に力が加わり、自然な編み物表面の変化が観察できる。

#### 4 編み物の生成の流れと編み物の作成

- 符号図から複製可能な最小単位の複数の符号図を作成する。

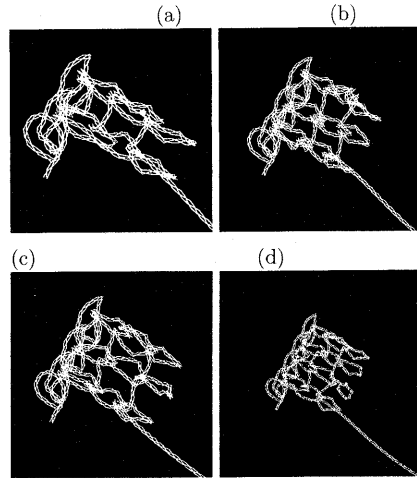


図 5: (a) メリヤスあみ (b) かのごあみ (c) 一目ゴムあみ (d) 二目ゴムあみ

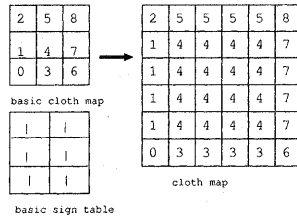


図 6: 基本符号表と編み物マップの対応

- 必要な毛糸の太さや色に対応した毛糸のモデルを選ぶ。
- 最小単位の複数の符号図を求める。
- 毛糸のモデルのエネルギー式に従い、仮想空間で力をかけていき、編んでいく順番に通過点リストと目標点リストを移動していくことにより編み物は完成する。
- 編み物を作成後、編み物マップとゲージに基づき編み物の各領域を分類する。
- 編み物は布のエネルギー式に基づき変形し、それに応じて毛糸の目も変形する。

メリヤス編みとかのご編みと一目ゴム編みと二目ゴム編みの 4 種類の編み方で 19 目\*50 目の編み物を生成した。図 7はメリヤス編みの作成したマフラーの符号表で

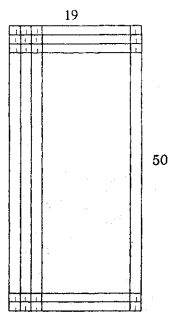


図 7: メリヤス編みのマフラーの符号表

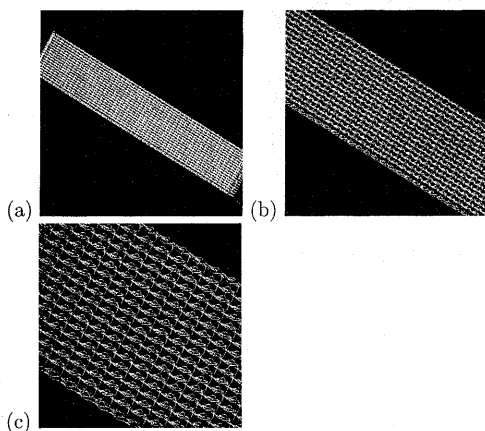


図 8: メリヤス編みによるマフラー

ある。編み物は鎖編みを初めに作成し、鎖編みで編んだ目を基に、表編み、裏編みを組み合わせていくことにより編み物が編まれていく。図 8 図 9 図 10 図 11 はそれぞれメリヤス編み、かのご編み、一目ゴム編み、二目ゴム編みの編み物である。各編目のテクスチャの違いが現れていることがわかる。編み物に力をかけていくと編み物は変形する。編み物マップに変形する力をくわえていくことにより編み物は変形する。計算時間のほとんどは最小単位の編み物を力に基づき作成する部分に要し、一旦最小単位の編み物が作成されると編目が何目あってもその時間は大きく変わらない。図 12 に風に吹かれてなびくことよって変形したマフラーを示す。このようなモデルを用いることにより、マフラーの目が変形せずに自然な編み物の動きが実現されている。本稿では表目裏目より生成されるメリヤス編みガータ編みかのご編み二目ゴム編み一目ゴム編みの 5 種類の編み方を紹介したが、他

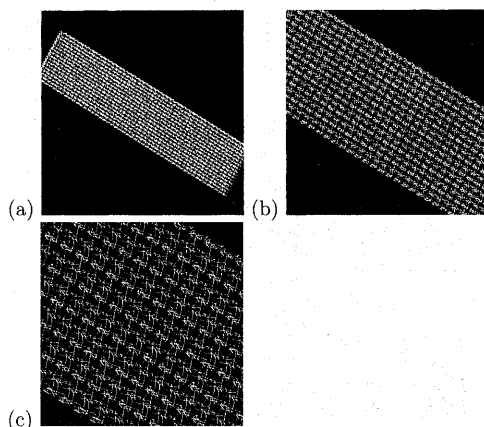


図 9: かのご編みによるマフラー

にこま編み長編み模様編みなどがあり、これらの編み方も同様の編み方で実現できる。

## 5 おわりに

本研究では、実空間で編み物を生成する場合と同様に仮想空間上に生成された毛糸を引っ張り込むことにより、編み物を作成する手法を提案した。仮想空間に作成された編み物は力をかけるとそれに対応して変化する。編み物を実際に編まなくても符号表があれば、作成前にできあがり想像することができるため有効である。また毛糸の種類や色を変えて同じ編み物を作成した場合の仕上りを作成前に想像することができるため有効である。今後はさらに編み物のリアリティを加えるために毛糸のモデルを洗練することやより複雑な編み物を生成していく。

## 参考文献

- [1] M. Kass, A. Witkin and D. TERZOPULOS, "Snakes: Active Contour Models," Int. J. Computer Vision, 1987, pp. 321-331, 1987.
- [2] D. Terzopoulos, A. Witkin, and M. Kass, "Constraints and Deformable Models: Recovering 3D Shape and Nonrigid Motion," Artificial Intelligence, vol. 36, pp. 91-123, 1988.
- [3] Y. Xu and Y. Chen, S. Lin, H. Zhong, E. Wu, B. Guo and H. Shum, "Photorealistic Rendering

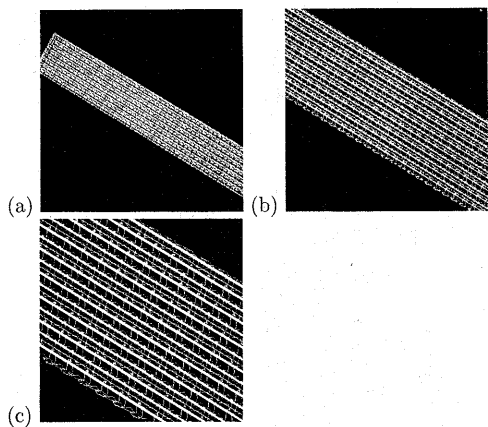


図 10: 一目ゴム編みによるマフラー

of Knitwear Using The Lumislice," proc. of SIG-  
GRAPH2001, pp. 391-398, 2001.

- [4] 奥村寿美枝," 困ったときはあみもの 110 ばん, 日本  
ボーグ社, 1988.

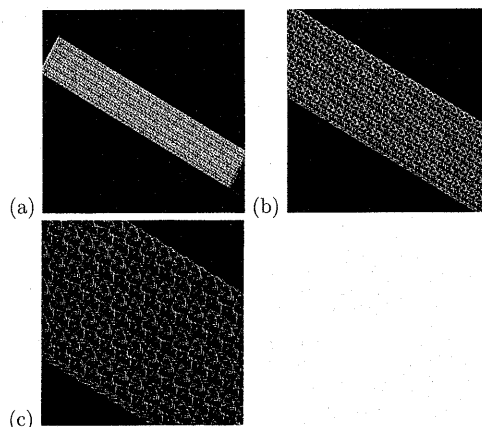


図 11: 二目ゴム編みによるマフラー

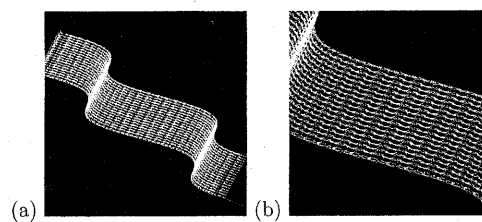


図 12: 変形したメリヤス編みのマフラー