

## 3-D Modelling of Basic Weft-Knitted Fabric Structures

FUKUTA Yuka<sup>a,b,\*</sup>, OHTA Kouichi<sup>a</sup>, KINARI Toshiyasu<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Owari Textile Research Center, AITEC, Aichi Prefectural Government, 35 Miyaura, Mabiki, Yamato-cho, Ichinoiya, Aichi 491-0931, Japan

<sup>b</sup> Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa 920-1192, Japan

Received 11 December 2009; accepted for publication 9 December 2010

### Abstract

Based on the structural analysis of sample knitted fabrics and the knit geometric theory, we have built an algorithm that can make three-dimensional structure models for weft knitted fabrics such as welt stitches, tuck stitches, cross stitches, rib stitches and purl stitches. In order to reduce computational complexity, we have set the anchoring point on the diametral plane of yarn in the knitting chart. Drawing from the beginning knitting point to the finished knitting point, a smooth knit curve model can be obtained with the cardinal spline curve. Using this algorithm, we have developed the weft knit three-dimensional structure modeling software that can display the three-dimensional model of knitted fabrics including welt stitches; tuck stitches, cross stitches, rib stitches and purl stitches.

Our work confirms 3-D modeling of three foundation knits of weft knit (plain stitches, purl stitches, rib stitches), tuck stitches, welt stitches and cross stitches with a commercially available PC. This software can be used by someone with no understanding of knitting to gain an understanding of the knitting process, and determine the structure of a knitted fabric product.

*Key Words*: Knit, 3-D modeling, Tuck, Welt, Rib, Purl

## よこ編基本組織の3次元モデリング手法

福田ゆか<sup>a,b,\*</sup>, 太田幸一<sup>a</sup>, 喜成年泰<sup>b</sup>

<sup>a</sup> 愛知県産業技術研究所尾張繊維技術センター, <sup>b</sup> 金沢大学大学院自然科学研究科

### 1. まえがき

よこ編に代表されるニットはその伸縮性から、近年衣料用だけでなくさまざまな用途に用いられつつある。近年種々の製造業において、金属、プラスチック部品等はCAEによる設計が広範囲で導入され、製品開発の効率化に寄与している。しかし、繊維素材のような柔素材ではCAE技術が確立されていないため、製品開発におけるボトルネックとなっている。特に、ニットは織物に比べ3次元モデリングの研究開発が進んでおらず、これを実現することにより、ニットの生産現場では、サンプル作成の手間を省き、製品開発の効率化を図ることが可能になる。

編目の幾何学形状の研究は古くから行われており、Peirce [1] はループ長を糸の直径の16.663倍に限定し、ループ長と糸の直径、ループ密度との関係を解析している。その後Leafら [2] は、より安定したループ構造になるための新しいモデルを提案した。ループは歪エネルギーを最小にする形状となるよう詳細なループ形状を、サインカーブを用いた方程式で表した。一方ループ長、密度、糸の直径、編地の長さ・幅・厚さの関係について実験的な研究が盛んに進められた [3]。

近年コンピュータの性能が向上したことにより、複雑な方程式で与えられる形状を容易に描画できるようになった。Kurbakらは編地の糸の曲げ歪みエネルギーから編地のカーリング [4]、糸の解熱トルクエネルギーから斜行のシミュ

\* 連絡先: 愛知県産業技術研究所尾張繊維技術センター 491-0931 一宮市大和町馬引宮浦 35,  
E-mail: yuka\_fukuda@pref.aichi.lg.jp, Tel: +81-586-45-7871, Fax: +81-586-45-0509

レーションを行っている [5]. またカーリングのモデルを局所的なカーブとして応用し、 $n \times m$  のリブ編みモデルに用いている。Kurbak らはさらに糸の曲げ歪みエネルギーを考慮してパール編み組織 [6], ミス (ウェルト) 組織 [7], タック組織 [8] の各種組織のモデル化を行っている。西条らは、平編地の3次元形状モデリングに加え、糸の解熱トルクにより起こる斜行のシミュレーションを行っている [9]. これらの研究では、編目の詳細な3次元形状やカーリング、斜行といった糸の歪みエネルギーから、編地形状の変形を予測している。しかし、モデルを算出表示するためには、膨大な計算量を必要とし、時間がかかる。また編組織図等の設計のデータに基づいていないため、製品開発の効率化のための3次元モデル作成とはなっていない。

鈴木ら [10] の出願特許では、編地の各編目に対してその上下左右の編目との相対位置に基づいて編目を移動させ、影を付けることで3次的に表現し、よりリアルな編地のシミュレーションを製品設計の作業で使用できるように行っている。精細なループシミュレーションが短時間でできるとしている。森本ら [11] の出願特許では、ニット製品のパターンから編目の2次元のシミュレーション画像を作成し、パターンの3次元シミュレーション画像に編目画像をマッピングすることにより、よりリアルなニット製品の3次元モデル化を行っている。これらの研究では、編組織図などから2次元の編地のシミュレーションをしたのちに3次元の製品に編目画像をマッピングすることで製品のリアルなシミュレーションが可能となっているが、編目そのものの3次元形状シミュレーションは行われていない。

古川ら [12] の出願特許では、編組織図を基に糸の連結点を3次元の格子状に配列し、タック、ウェルト組織部分では格子を変化させ、その格子を接続することで編組織図に対応した編地の3次元シミュレーション画像を生成している。

我々の研究の目的は、ニット製品の企画設計のデータを基にしたニット製品の3次元モデリングと表示のためのソフトウェアの開発である。一般的に、3次元モデルは2次元画像データと比較し、CAD等での処理が可能で、ソフトウェア間の互換性が高いという利点がある。さらに、編地を3次元モデルにより表現できれば、ニット製品のできあがり形状とサイズの予測などが可能となるため、ニット製品開発の効率化が期待できる。

ニット製品の3次元モデリングを行うにあたり、まず、横編機、丸編機で編成できる基本的なよこ編組織の3次元モデリング手法についての検討を行うこととし、編地の形状を作る減らし目、増やし目についての検討は、後の研究課題とする。

また、汎用的なパソコンで使用可能なソフトウェアにするため、計算量を減じるアルゴリズムについて検討する。

本報告では、サンプルニット生地 of 構造解析を行い、サンプルニット生地の実測値とニット幾何学の理論をもとに、平編、タック、ウェルト、移し目、ゴム編、パール編の組織について3次元モデリングを行い、それらの組織で構成される編地を表示するソフトウェアを開発したので、その結果につ

いて報告する。

## 2. ソフトウェアの開発環境

ソフトウェア開発環境としては、OS: Windows XP, プログラム言語は Visual Basic2005 を用いた。3次元画像表示のAPIには DirectX9 を用いた。DirectX9 を用いた利点としては、Visual Basic2005 での3次元画像表示が可能のため開発言語を1本化できること、CPUの負担が減るため表示処理の高速化が期待できることがある。

## 3. よこ編組織の3次元モデリングソフトウェアの開発

平編 (天竺) 組織の一つのループを基本ループとすると、基本ループは古くから幾何学構造の解析と実際の編地の検証がなされており、Peirce, Leaf 等の幾何学理論の数式を用いれば、基本ループの3次元モデリングができる。しかし、タック、ウェルト組織等 (変化組織) はループが交錯する構造が基本ループと異なるので、ループの形状を変形させる必要がある。幾何学理論の数式そのままではモデリングすることができない。基本ループの曲線をスムーズに表現するためには多量の頂点座標が必要になるが、基本ループ以外の組織を表現する時その一つ一つの移動を計算するには時間がかかるため、最小限の組織図を基にし、組織の位置となる基準点 (以下組織基準点とする) と糸の通る中心点となる基準点 (以下糸中心基準点) を算出してから、カーディナルスプライン曲線の数式を用いスムーズな曲線を描くように中間座標を求めることとした。

組織図 (Fig. 1) または編方図の入力、ウェール密度、コース密度、番手の設定を基として、編地の3次元モデリングを

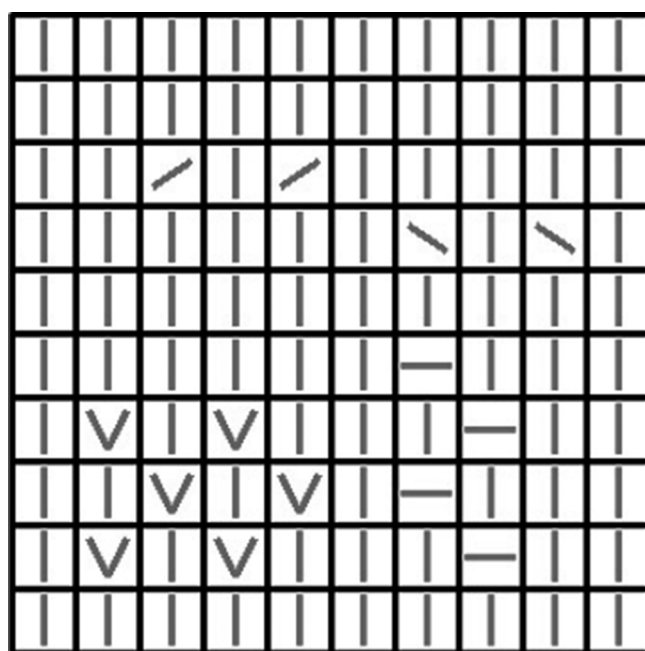


Fig. 1 Knitting chart.

行うソフトウェアの開発を行った。組織図と編目密度を設定し、組織基準点および編地の編み始めのループから編み終わりのループまで順番に糸中心基準点を算出した。編み始めから編み終わりまでの糸中心基準点を通るカーディナルスプライン曲線として編地の3次元モデルを描くため、2点の糸中心基準点の間に4点または9点の糸中心座標を数式により補間した。

カーディナルスプライン曲線は以下の式より求めた。

X座標について

$$\begin{aligned} & \left[ A_x = T(X_2 - X_0) + T(X_3 - X_1) + 2X_1 - 2X_2, \right. \\ & B_x = -2T(X_2 - X_0) - T(X_3 - X_1) - 3X_1 + 3X_2, \\ & C_x = T(X_2 - X_0), D_x = X_1, T = 0.7, \\ & \left. X'(n) = A_x t^3 + B_x t^2 + C_x t + D, t = n/m \right] \end{aligned}$$

$X_0, X_1, X_2, X_3$  : 糸中心基準点の座標,  $n$  : 補間する座標の  $n$  番目,  $m$  : 2点間を補間する座標の総数

座標  $X_0, X_1, X_2, X_3$  から  $X_1, X_2$  間の補間座標を算出。T は線分の硬さに対応する変数。ループ長が糸の直径の16.7倍になる数値として  $T=0.7$  と設定。

Y座標, Z座標についても同様の式で求めた。

ここで糸直径は、入力番手から織物の理論密度 Ashenhurst の計算式に用いられる直径数の式 (1 inch 間に重ならずに密接して並べられる糸本数) より求めた。

$$d = 2.54 / (K \sqrt{840 \times N \times 0.591})$$

$d$  : 糸直径  $N$  : 共通式番手  $K$  : 原料によって決まる定数 (綿 : 0.93, 梳毛 : 0.90)

糸の断面は、対角線が糸の直径となる正八角形とし、糸中心がカーディナルスプライン曲線を描く正八角形の筒のつながりとして頂点座標を求め、DirectX9により3次元画像として表示した。

設定を糸の番手のみとした場合、糸の番手から求めた直径に対し適正な編目密度を求め3次元モデルの頂点座標を算出した。編目密度に対し理論値よりも細い番手で編地の編成は可能である。そこで編目密度と番手を両方設定したとき、糸中心基準点を算出するための糸の直径は編目密度から算出し、糸の断面である正八角形の頂点は設定した番手から算出した。

## 4. 基本ループのモデリング

基本ループの組織基準点と糸中心基準点を以下に示すように求めた。共通式番手に換算して2番手の綿麻の手芸糸で平編サンプルを作成し、編地サイズ (ウェール密度 : 2目/cm, コース密度 : 2.3目/cm, 編地の厚さ : 2.3mm, 密度より求めた糸直径  $d$  : 1.25mm) を実測し、基本ループのモデルと比較した。

### 4.1 組織基準点の設定

各組織点に入力された組織情報 (組織図) を基に編目のモデルを作成するため、1ループの編目のモデル化に上下2点の組織の位置となる基準点 (以下組織基準点とする) を定め

ることとした (Fig. 2)。Fig. 2に示すように組織基準点2点を、ウェール密度から求められるループの幅の中心線とコース密度から求められるコース幅の上下の線の交差点2点に定めることとした。組織図, ウェール密度, コース密度より、編地全体のサイズと各ループの組織基準点を設定する (Fig. 3)。上下左右の組織の関係からこの2点の組織基準点を移動することにより移し目, ゴム編など, 左右の伸縮をコントロールする。

### 4.2 糸中心基準点の設定

各編目構造をモデル化するため、基本ループの1ループの編目において糸の通る中心点となる6点の基準点 (以下糸中心基準点) を定めて行うこととした (Fig. 2)。Fig. 2の7点目の糸中心基準点は次のループの1点目となるため、算出する基準点は6点となる。

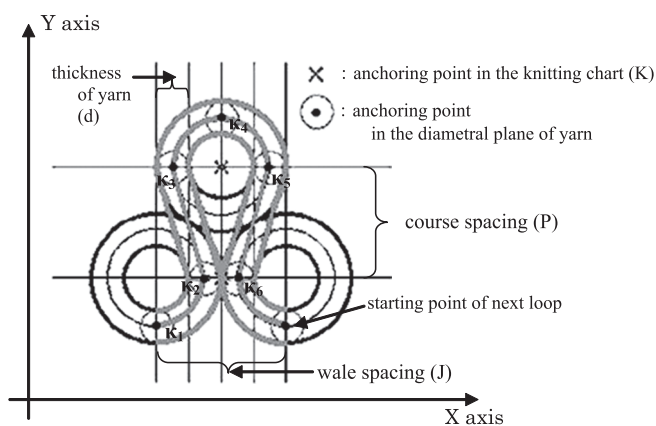


Fig. 2 Anchoring point in the XY plane (The plane view of knitted fabric).

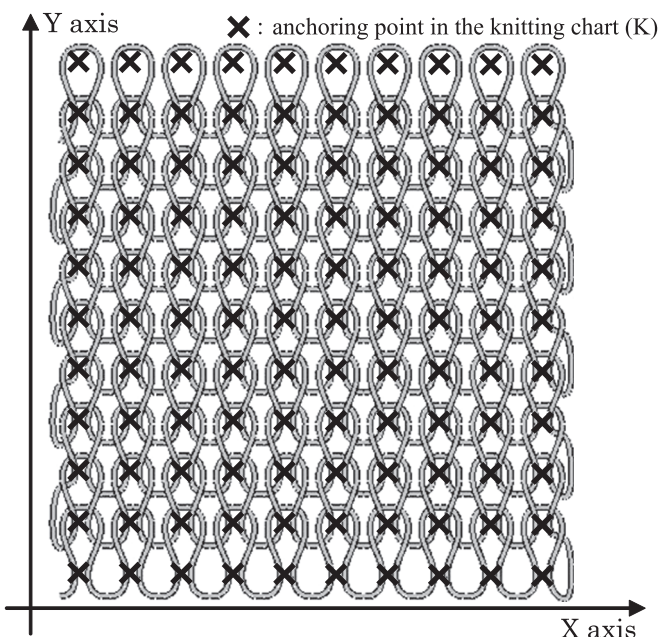


Fig. 3 Anchoring point in the XY plane (The plane view of knitted fabric).



編目の幾何学構造を最初にモデル化した Peirce の簡略図 (Fig. 2) を xy 平面, 編地の厚さを yz 平面 (Fig. 4) で示す. 基本ループでは糸が交錯する 4 点において糸が拘束され方向が変わるため, まずこの 4 点を糸中心基準点とする. 糸の交錯する 4 点の間で, 糸は平編地の表側に盛り上がる. ループの上下頂点 2 点は平編地の裏側に沈む. 糸の交錯する 4 点とループの上下頂点 2 点の Z 軸方向での差により編地の厚さを計算できる. よって基本ループでは, 糸の交錯する点と上下頂点 2 点の 6 点を糸中心基準点とした.

基本ループを 6 点の糸中心基準点を通る曲線として表すため, 平編の編目構造から 6 点の糸中心基準点の位置を検討した.

ウェール密度とコース密度から算出した組織基準点から, 1 ループの編目がその中におさまるようにループの高さと幅を計算しモデル化する. 糸中心基準点は組織基準点を基にして算出し, 編目をモデル化する. 基本ループでは, ウェール密度 (単位: 目/cm) はループの幅に相当するが, 頂点 2 点は上下の編目と重なるため, 4 点の糸交錯点がコース密度 (単位: 目/cm) に相当する.

Fig. 2 に示す基本的な幾何学モデルでは, 平編地ですまなくループが配列されたと仮定すると, ウェール密度  $W$ , コース密度  $C$ , ループ長  $\ell$ , 糸の直径  $d$ , 下の交錯点と上の交錯点の間隔  $P$ , ループの幅  $J$  は以下の関係である.

$$\begin{aligned} P &= 1/C \\ J &= 1/W \\ P &= 3.46d \\ J &= 4d \\ \ell &= 16.7d \end{aligned}$$

例えば編機で右行きで編まれるループでは糸は左から右へ通るため, 糸中心基準点を左下から順番 (左行きの場合は右下から順番) に  $\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3, \kappa_4, \kappa_5, \kappa_6$  とする. 組織基準点を  $K$  (上の組織基準点を  $K_u$ , 下の組織基準点を  $K_d$ ) とする. 上の組織基準点は 1 コース上のループの下の組織基準点とな

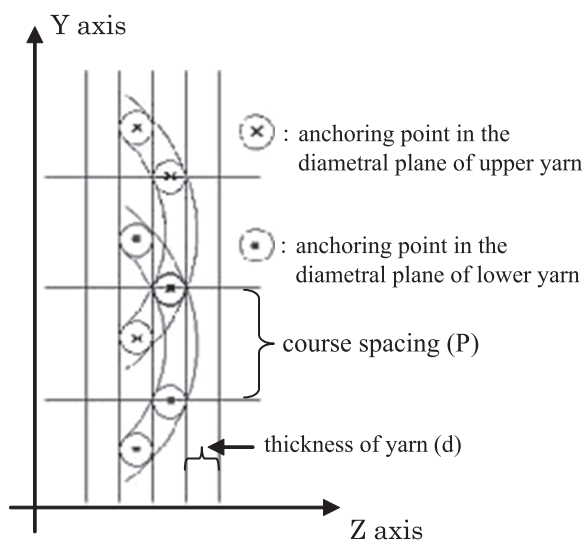


Fig. 4 Anchoring point in the YZ plane (The cross section of knitted fabric).

る. 糸の直径  $d$  は 1 ループの幅の 1/4 であるため, 糸が交錯する上の 2 点で糸の中心は糸の半径分ウェール密度で求められる 1 ループの幅の端から内側に入り, 下の 2 点はウェール密度で求められる 1 ループの中心より糸の半径分外側となる. よって糸が交錯する上の糸中心基準点 2 点 ( $\kappa_3, \kappa_5$ ) の X 座標 ( $\kappa_{3x}, \kappa_{5x}$ ) は,

$$\kappa_{3x} = K_{ux} - (J \times 3/8), \quad \kappa_{5x} = K_{ux} + (J \times 3/8)$$

とした. Y 座標 ( $\kappa_{3y}, \kappa_{5y}$ ) については, 糸中心基準点の Y 座標 = 組織基準点の Y 座標である.

下の糸中心基準点 2 点 ( $\kappa_2, \kappa_6$ ) の X 座標 ( $\kappa_{2x}, \kappa_{6x}$ ) は,

$$\kappa_{2x} = K_{dx} - (J \times 1/8), \quad \kappa_{6x} = K_{dx} + (J \times 1/8)$$

とした. Y 座標 ( $\kappa_{2y}, \kappa_{6y}$ ) については, 糸中心基準点の Y 座標 = 組織基準点の Y 座標である.

サンプルの実測値およびループの頂点が接することから, ループの高さはコース密度から求められるコースの間隔の 2 倍になる. よって上下頂点はコース密度の 1/2 重なっている. また糸の半径分だけ内側に入るため, 上の頂点の糸中心基準点 ( $\kappa_4$ ) の Y 座標 ( $\kappa_{4y}$ ) は,

$$\kappa_{4y} = K_u + P \times 1/2 - d/2$$

とし, 下の頂点の糸中心基準点 ( $\kappa_1$ ) の Y 座標 ( $\kappa_{1y}$ ) は

$$\kappa_{1y} = K_d - P \times 1/2 - d/2$$

とした.

上下の頂点の糸中心基準点の X 座標 ( $\kappa_{4x}, \kappa_{1x}$ ) は,

$$\kappa_{4x} = K_{ux}, \quad \kappa_{1x} = K_{dx} - J/2$$

である.

編地の厚さ方向の Z 座標については, 糸の直径  $d=1.25$  mm により, 上下頂点の糸中心基準点を Z 方向に移動し厚さを変化させた. Fig. 4 に示すように, 糸の直径  $d$  だけ移動する (厚さは  $d \times 2$ ) と糸は曲線を描いているため隙間ができる. サンプル編地の厚さの実測値が 2.3 mm ( $d \times 1.8$ ) であることから, その隙間は  $d \times 0.2$  となり糸の中心座標は  $d \times 0.8$  移動する. 糸の交錯点の Z 座標 ( $\kappa_2, \kappa_3, \kappa_5, \kappa_6$ ) を 0 とすると, 上下の頂点の Z 座標は,

$$\kappa_{1z} = -d \times 0.8, \quad \kappa_{4z} = -d \times 0.8$$

となる.

平編地のサンプルの実測値のループ長 (20.7 mm), 3 次元モデルの描画のループ長はともに  $\ell=16.7d$  と近似する値となるため, 上記の方式が妥当であると考えられる.

## 5. 変化組織のモデリング

各変化組織のループの組織基準点と糸中心基準点を以下に示すように求めた. 共通式番手に換算して 2 番手の綿麻の手芸糸により各変化組織のサンプル編地を作成した. ウェール密度, コース密度, 編地の厚さ, 糸の交錯点の位置の実測と各変化組織のループと基本ループの比較を行い, 変化組織のモデリングについて検討した.

### 5.1 ウェルト (ミス) 組織のモデリング

ウェルト (ミス) の組織では途中で糸が交錯しない. その



ため糸の方向が変わる基準点が必要ないので糸中心基準点は開始点となる下のループの頂点1点 ( $\kappa_1$ ) のみとした (Fig. 5). ただし距離の離れた糸の糸中心基準点2点を結ぶ曲線はZ方向にふくらむ構造となり, 実際の編目の形状に近似することが確認できた (Fig. 6).

### 5.2 タック組織のモデリング

タック組織の編目は下のループの糸と交錯しないため, 下のループの頂点が上方に引き上げられる構造となっている. そこで下のコースのループと交錯するはずの糸中心基準点2点を除去し, 4点の糸中心基準点を通る曲線とした (Fig. 7). タック組織の編目の下の左右のループ頂点のY座標 ( $\kappa_{1y}$ ) は下のループに引っ張られないので上方に移動する. サンプル生地の実測値よりタック組織の下のループ頂点のY座標は下の組織基準点のY座標 ( $K_{dy}$ ) となる.

$$\kappa_{1y} = K_{dy}$$

タック組織の下のループ頂点のX座標はループの両端であるので,

$$\kappa_{1x} = K_{dx} - J/2$$

またタック組織の次の (隣の) ループの下の頂点 ( $\kappa_{1x}'$ ) も

引き上げられるため,

$$\kappa_{1x}' = K_{dx} + J/2$$

となる.

上の糸交錯点ではタック組織のループとタック組織の下のループの2本の糸が通るため, タック組織のループの糸中心基準点 ( $\kappa_2, \kappa_4$ ) をZ方向へ移動し厚みを出す必要がある. タック組織のサンプル編地の厚さの実測値が3 mmであることから, 上のループの糸の中心座標とタック組織のループの糸の中心座標の間隔は  $3-d \approx 1.8$  となり, 糸の中心座標は  $1.8 \text{ mm} (d \times 1.44)$  移動する.

$$\kappa_{2z} = -d \times 1.44$$

$$\kappa_{4z} = -d \times 1.44$$

タック組織の代表的な鹿の子編みで, 3次元モデルはサンプルの編目の形状に近似することが確認できた (Fig. 8).

### 5.3 タック組織およびウェルト (ミス) 組織の下のループのモデリング

タックおよびウェルト (ミス) の組織の下のループはタックおよびミスのループと交錯しないため, タックおよびミス

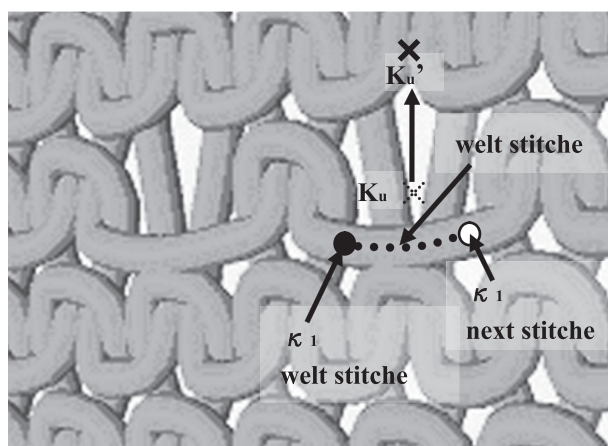


Fig. 5 3D model of Welt-stitches (Miss stitches).

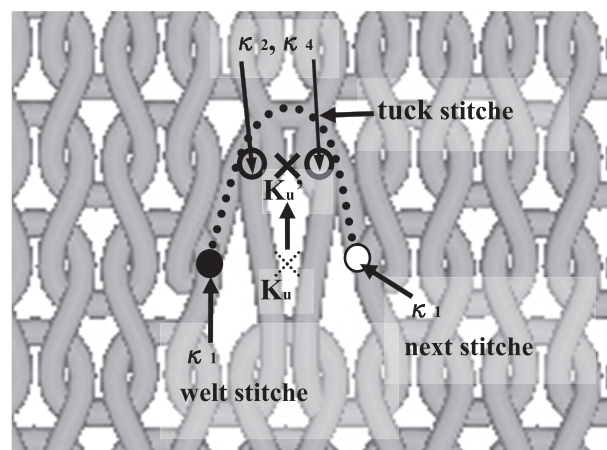
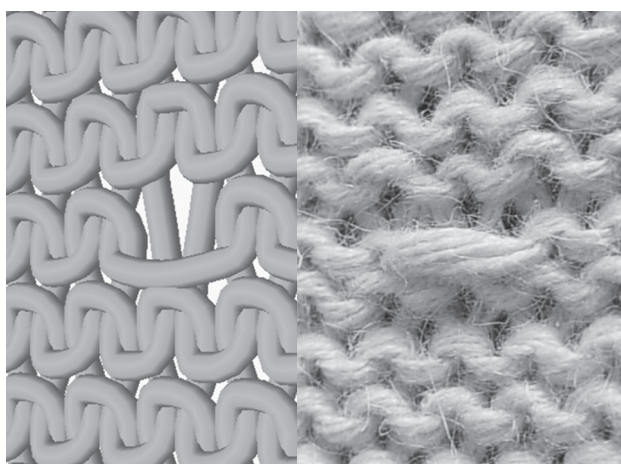
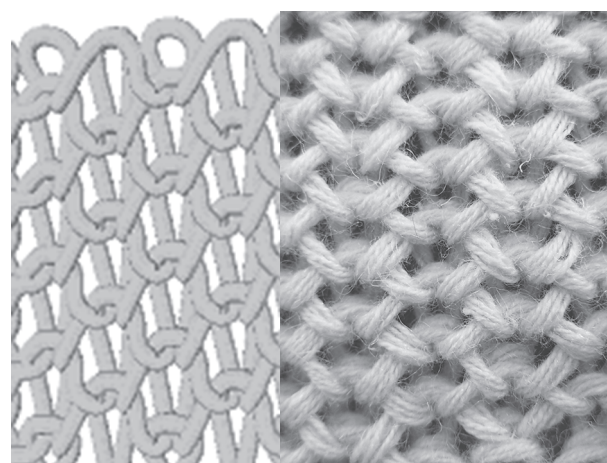


Fig. 7 3D model of Tuck stitches.



(a) Model (b) Sample

Fig. 6 3D model of Welt-stitches and sample Knitted Fabric.



(a) Model (b) Sample

Fig. 8 3D model of Moss-stitches (Tuck stitches) and sample Knitted Fabric.

の組織の上のループと交錯する構造となる。よってタックおよびミス組織の下のループの上の組織基準点 ( $K_u$ ) はさらに一つ上の組織基準点 ( $K_u'$ ) へ移動して求める。その際ループ長が変わらないまま糸が引っ張られるためループの幅が狭くなる。タックの下のループの幅の実測値が 4.2mm であることから、基本ループの幅の実測値の 5 mm より左右で 0.8 mm 内側に寄せるので、糸の中心座標は基本ループの  $\kappa_{3x} = J \times 3/8$  (1.875 mm) より  $J \times 0.08$  (0.4 mm) 内側に移動する (Fig. 5, Fig. 7).

$$\kappa_{3x} = K_{u'x} + J \times 0.295$$

$$\kappa_{5x} = K_{u'x} - J \times 0.295$$

タック組織の下のループの Z 座標は基本ループのままとした ( $-d \times 0.8$ ).

### 5.4 移し目組織のモデリング

移し目組織は上の組織基準点 ( $K_u$ ) を移したい方向の一つとなりの組織基準点 ( $K_u'$ ) に移動し、上 3 点の糸中心基準点を求めた (Fig. 9).

上の糸交錯点では移し目組織のループと移し目組織の隣のループの 2 本の糸が通るため、サンプルの実測値を基に移し目組織のループの糸中心基準点 ( $\kappa_3, \kappa_5$ ) を Z 方向へ移動し厚みを出した。移し目組織のサンプル編地の厚さの実測値が 2.55 mm であることから、上のループの糸の中心座標と移し目組織のループの糸の中心座標の間隔は  $2.55 - d = 1.3$  となり、糸の中心座標は  $1.3 \text{ mm}$  ( $d \times 1.04$ ) 移動する。

$$\kappa_{3z} = -d \times 1.04$$

$$\kappa_{5z} = -d \times 1.04$$

移し目組織のループの上のループは、下の移し目組織のループと交錯しないため、タック組織のループと同様に 4 点の糸中心基準点を通る曲線となる。よって糸中心基準点の X 座標、Y 座標はタック組織と同じ式で求められる。糸の交錯点で 1 本ずつの交錯となるため、Z 座標は基本ループのままとした ( $-d \times 0.8$ ).

移し目組織を用いたメッシュ編みで、3次元モデルはサンプルの編目の形状に近似することが確認できた (Fig. 10).

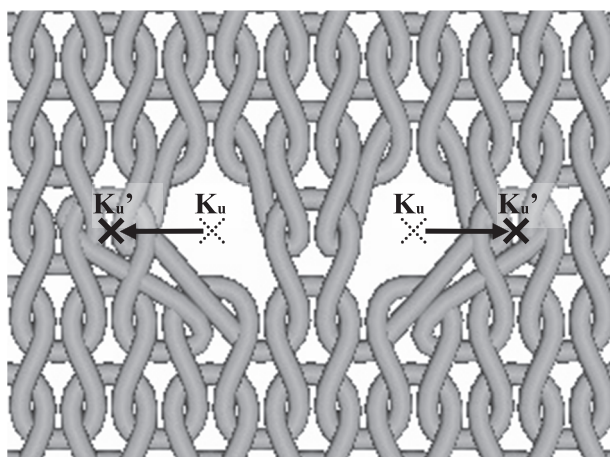
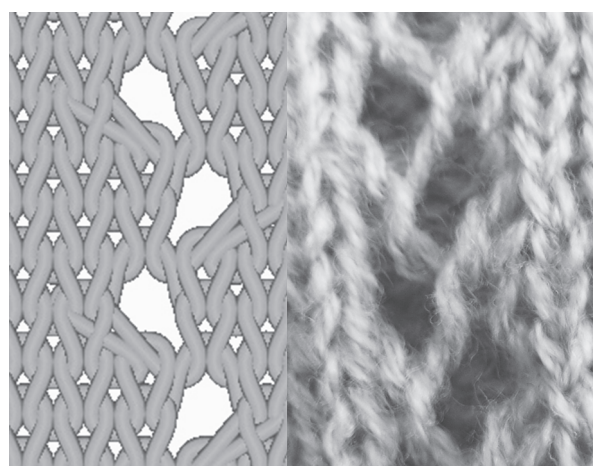


Fig. 9 3D model of Cross stitches.



(a) Model (b) Sample

Fig. 10 3D model of Mesh-stitches (Cross stitches) and sample Knitted Fabric.

### 5.5 ゴム編組織のモデリング

基本の平編と同じ編目構造でも左右の編目の裏表が反転する組織では、編地は幅方向で収縮し、厚さ方向は厚くなる (Fig. 11)。ゴム編組織のループは編目がウェール方向で表裏反転し、コース方向にその反転した組織が並んでいる。1×1のゴム編組織の反転した部分でループが半分 ( $d \times 0.5$ ) 重なると、表裏のループが完全に重なるため、ウェール密度は 2 倍となる。1×1 ゴム編のサンプル編地のウェール密度の実測値は 3.6 目/cm であり、基本ループのウェール密度 2 目/cm に対して 1.8 倍となる。そこで組織基準点は、X 軸方向へ  $d \times 0.45$  縮む方向に移動する。

$$K_{ux} = K_{ux} - J \times 0.45$$

$$K_{dx} = K_{dx} - J \times 0.45$$

裏表が反転する組織部分では表編ループと裏編ループが重なり ( $J \times 0.45$ )、ループは反対方向へ膨らむため、裏編のループを Z 軸方向に反転するよう交錯点 4 点の糸中心基準点 ( $\kappa_2, \kappa_3, \kappa_5, \kappa_6$ ) を Z 方向へ移動する。基本ループの Z 方向

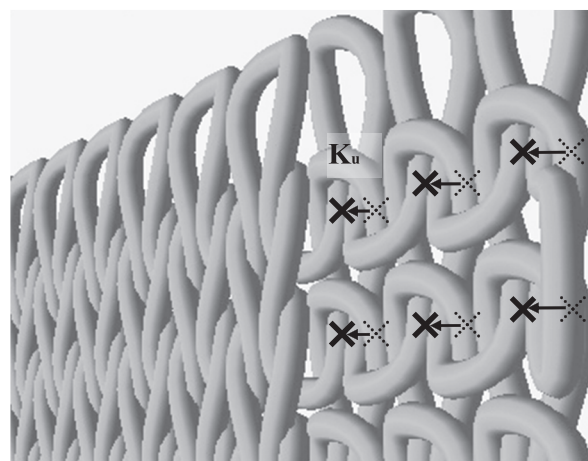


Fig. 11 3D model of Rib-stitches.



への移動  $-d \times 0.8$  からさらに  $-d \times 0.8$  分移動する.

$$\kappa_{2z} = -d \times 0.8 \times 2$$

$$\kappa_{3z} = -d \times 0.8 \times 2$$

$$\kappa_{5z} = -d \times 0.8 \times 2$$

$$\kappa_{6z} = -d \times 0.8 \times 2$$

算出されたゴム編組織の編地の厚さ 3.25mm とサンプルのゴム編組織の編地の厚さの実測値 3.3 mm が近似すると確認できた.

2×2 ゴム編組織で, 3次元モデルはサンプルの編目の形状に近似することが確認できた (Fig. 12).

### 5.6 パール編組織のモデリング

基本の平編と同じ編目構造でも上下の編目の表裏が反転する組織では, 上下のループの頂点が編地の表裏反対方向に向いておりループ長は変わらないため, 厚さ方向は厚くなり, 編地は長さ方向で収縮する (Fig. 13). パール編組織のループは編目がコース方向 (Y 軸方向) で表裏反転し, ウェル方向にその反転した組織が並んでいる. サンプルの実測値を基に組織基準点 ( $K_u$ ) をコース方向 (Y 軸方向) に移動し, 編地の高さ方向を収縮させた.

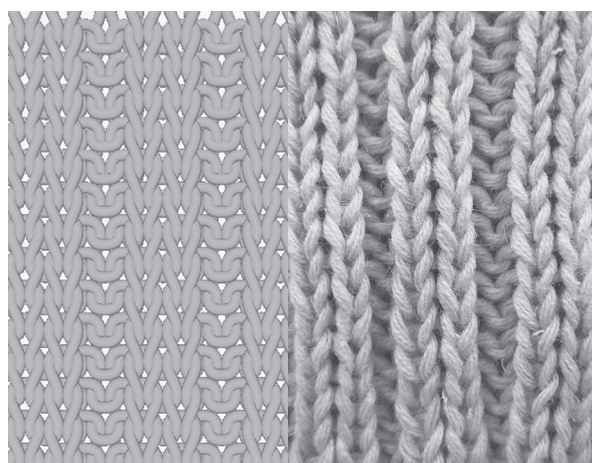
パール編組織のサンプル編地のコース密度の実測値は 4.2 目/cm ( $P \approx 2.38$  mm) であり, 基本ループのコース密度 2.3 目/cm ( $P \approx 4.35$  mm) に対して約 1.8 倍となる. そこで組織基準点は Y 軸方向へ  $P \times 0.45$  縮む方向に移動する.

$$K_{u_y} = K_{u_y} - P \times 0.45$$

裏表が反転する組織部分ではループの上下の頂点は反対方向へ膨らむため ( $P \times 0.45$ ), ループの上下の頂点が Z 軸方向に反転するよう裏編組織と交錯するほうの頂点の糸中心基準点 ( $\kappa_1$  or  $\kappa_4$ ) を Z 方向へ移動する. 基本ループの Z 方向への移動  $-d \times 0.8$  からさらに  $-d \times 0.8$  分移動する.

$$\kappa_{1z} = -d \times 0.8 \times 2 \text{ or } \kappa_{4z} = -d \times 0.8 \times 2$$

算出されたパール編組織の編地の厚さ 3.25 mm とサンプルのパール編組織の編地の厚さの実測値 3.2 mm が近似すると



(a) Model (b) Sample

Fig. 12 3D model of 2×2 Rib-stitches and sample Knitted Fabric.

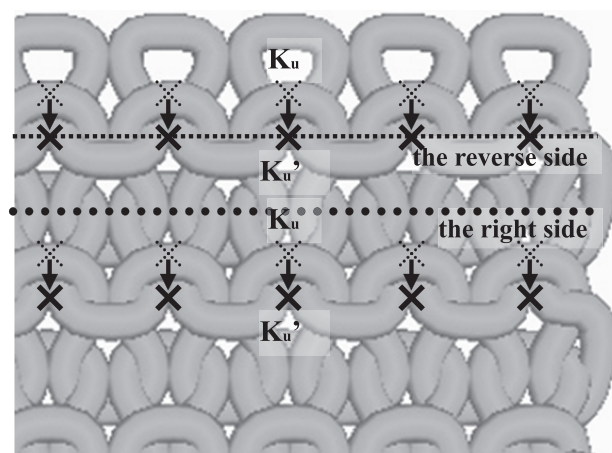


Fig. 13 3D model of Purl-stitches.

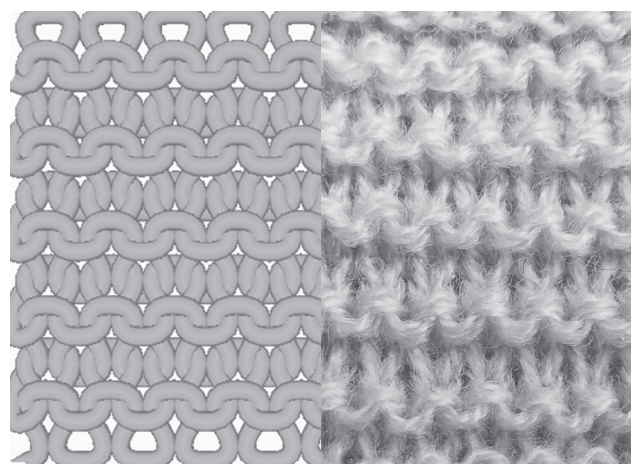
確認できた.

パール編組織で, 3次元モデルはサンプルの編目の形状に近似することが確認できた (Fig. 14).

## 6. 結言

本研究ではサンプルニット生地 of 構造解析とニットの幾何学の理論をもとに, タック, ウェルト, 移し目, ゴム編, パール編について 3次元モデリングするアルゴリズムを構築した. 汎用的なパソコンで使用可能なソフトウェアとなるように, 計算量を減ずる手法として組織基準点, 糸中心基準点を設定した. 編み始めから編み終わりの糸中心基準点をカーディナルスプライン曲線で描画することでなめらかなニットの曲線モデルを描いた. 構築したアルゴリズムをもとにタック, ウェルト, 移し目, ゴム編, パール編の組織を含む編地を, 組織図, 番手, 密度など基本設定の入力を行うことで, 対応した編地の 3次元モデルを表示する「よこ編組織の 3次元モデリングソフトウェア」の開発を行った.

本研究の成果により, よこ編の三原組織 (平編, パール編, ゴム編) に加えタック, ウェルト, 移し目の 3次元モデリン



(a) Model (b) Sample

Fig. 14 3D model of Purl-stitches and sample Knitted Fabric.



グを汎用的なパソコンで確認できるため、編地の編成知識を持たない者の編地の知識の習得、ニット生地を製品に使用する場合の編地の構造の確認に使用できる。編地は伸縮性に富むため、衣服の場合大まかなサイズでも着用者のサイズに合うが、ウェール密度、コース密度から編地を計算値として求め出来上がりのサイズをシミュレーションすることでより体形に合わせた製品、また衣服以外の用途で詳細な設計が可能な製品の開発を可能にすることが考えられる。

本研究の一部は日本繊維機械学会第 62 回年次大会で発表した。

## References

- [1] F. T. Peirce (1947) Text Res J, **17**, 123-148
- [2] Leaf, Glaskin (1955) J. Text. Inst., **46**, T587
- [3] Tabata M (1967) “kisosen-ikougaku [Ⅲ] dai 2 hen amimono”, pp 151-184, nihon sen-ikikaigakkai
- [4] A Kurbak', O Ekmen (2008) Text Res J, **78**, 198-208
- [5] A Kurbak', O Kayacan (2008) Text Res J, **78**, 279-288
- [6] A Kurbak', A S Soydan (2008) Text Res J, **78**, 377-381
- [7] O Kayacan, A Kurbak' (2008) Text Res J, **78**, 659-663
- [8] A Kurbak', O Kayacan (2008) Text Res J, **78**, 577-582
- [9] Saijo K *et. al.* (2009) Proceedings of the 62nd Annual Conference of TMSJ, 36-37
- [10] Suzuki N, Japan Patent, JP 2005-120501
- [11] Morimoto S , Japan Patent JP 2009-145959
- [12] Furukawa T , Japan Patent, JP 2007-293636