

# 編目基本構造のモデリング手法の開発

太田幸一<sup>\*1</sup>、池口達治<sup>\*1</sup>

## Development of Modeling Method for Weft Knit Loop

Kouichi OHTA<sup>\*1</sup> and Tatsuharu Ikeguchi<sup>\*1</sup>

Owari Textile Research Center, AITEC<sup>\*1</sup>

実際のニット生地について構造の解析を行い、解析結果を元に3次元構造モデルを構築する手法を開発した。ニットループをエラスチカとして近似した系軸方程式を改良し、ニットループを3次元モデルとして表現するアルゴリズムを開発した。この結果、上記アルゴリズムを使用することで、指定した編方図や糸番手等の編み地設計条件から編地の3次元モデルを生成することが可能となった。

### 1. はじめに

金属、プラスチック部品等の分野では製品の開発期間の短縮のためにコンピュータ支援設計技術(CAE)による設計が広範囲で導入されている。特に、自動車産業において、ボディー、金属、プラスチック部品等の分野ではCAEによる設計が広範囲で導入されており、自動車のほぼ9割の構成要素がCAEでの設計に移行し、従来数回に渡り試作車の作成をしていたものを、コンピュータ上での設計に置き換えることで、ほぼ1回の試作のみで確認し、本番生産に移行し、設計ならびに生産の効率化を図っている。

ほとんどの領域で自動車シート of 設計など織物を使用した領域では他の分野に比べて非常にCAE化が遅れている。織物に代表される繊維材料は、その可撓性により汎用のCAE技術をそのまま用いることが難しいためであり、現場ではさまざまな条件で試作した多種類の織物を実際の最終製品の形状に加工し、しわの発生状態などを確認した上で最終製品に最適な織物を選び出すという、試行錯誤的、人海戦術的な方法で対応しており、自動車設計全体の総合的CAE化を進める上でボトルネックとなっている。このため、自動車産業では繊維素材を製品形状に形成した時の歪み量予測の実現が大きな課題となっている。

これらの問題を解決するために、前報<sup>1)~7)</sup>において、織物組織図の情報から織物3次元モデルを作成し、さらに引張および曲げの変形シミュレーションを実施する手法について検討を行い、従来の織物変形シミュレーションでは実現されていない、糸の物性と織物の設計条件から織物の基本構造単位についての3次元モデルを作成し、さらに変形時における形状予測を可能とした。

さて、布帛は大別すると織物、ニット(編物)、組物、不織布に分類される。これらの中で、ニットは織物とならび古くから衣料用として使用されていたが、その伸縮性がある特徴から、近年需要が大幅に伸びている。さらに、衣料用だけでなくさまざまな用途に用いられつつある。特に、自動車産業では、従来織物が用いられていた内装材などにニットが多く用いられるようになり、コンパクトカーにおいてはニット素材が100%用いられる例もある。従って、ニットについても織物と同様にCAE技術の開発が求められている。しかし、ニットについてはLomovらによる5次多項式を使用して糸の屈曲状態を表現する方法<sup>8)9)</sup>など限られた研究しか報告されておらず、織物に比べ3次元モデリングの研究開発が進んでいないのが現状である。そこで、緯編ニットの立体構造3次元モデルを生成する手法を開発する。

### 2. 編目基本構造の解析

ニット基本組織の3次元構造モデルを出力するために、実際のニット生地についてニットループの3次元形状の解析を行った。3次元形状の計測については、篠原ら<sup>10)~12)</sup>による産業用X線CTによる平編地の計測結果を元に解析を行った。**図1**に産業用X線CTによるニットループの計測結果を、**図2**に篠原らの手法によりCTデータより求めた編地の糸中心データの3次元プロット結果を示す。ループのyz平面、すなわち、コース方向からの投影図がサインカーブに近い曲線を描いているなど、媒介変数を使用した空間曲線で表示が可能であることが確認された。

<sup>\*1</sup>尾張繊維技術センター 開発技術室

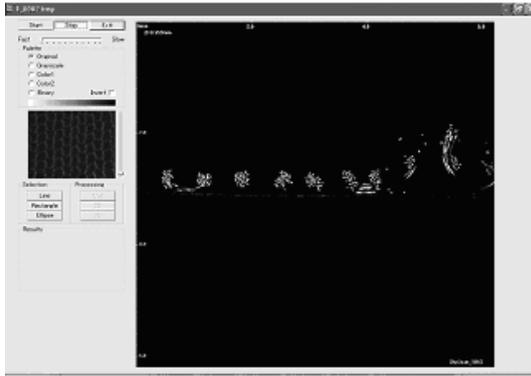


図1 産業用 X 線 CT による編地の計測結果

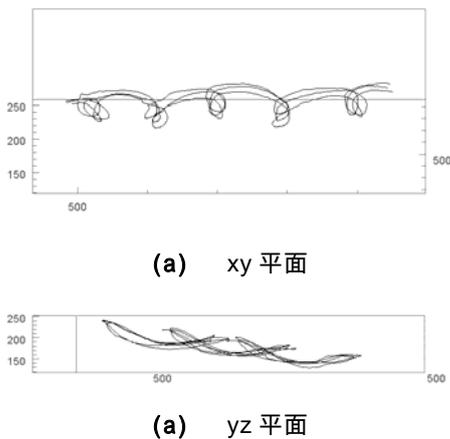


図2 CT データより求めた

編地の糸中心データの 3 次元プロット結果

### 3. 編目基本構造の分割モデル

上記解析結果を元にニット基本組織の 3 次元構造モデルを出力する場合、線状物体の変形シミュレーション手法<sup>13)</sup>などの適用が考えられるが、同手法では計算処理に半日などの時間を要しており、実際のニット生地設計・生産現場で使用する条件ではない。そこで、ニットループの 3 次元モデルを低分割数で表現することにより高速処理が可能であると考えられるので、低分割数による 3 次元表現可能性について評価するとともに、ニットループをエラスチカとして近似した糸軸方程式を改良し、ニットループを 3 次元モデルとして表現するアルゴリズムを開発した。

Leaf<sup>14)</sup>は弾性棒を曲げた時に形成されるエラスチカを用いて編地ループを方程式で表現する手法を提案した。

Leaf の方法では編目の糸軸曲線は以下の式(1)~(8)を解き、パラメータによる媒介変数表示で表現が可能となる。

$$x = n\{2E(k, \phi) - F(k, \phi)\} \quad (1)$$

$$y = r\left(\frac{\pi}{2} - \psi\right) \quad (2)$$

$$z = q(\sin \psi - 1) \quad (3)$$

$$w^2 = \frac{q^2}{r^2 + q^2} \quad (4)$$

$$\cos \phi = 1 - \frac{E(w, \psi)}{E\left(w, \frac{\pi}{2}\right)} \quad (5)$$

$$l = 4nF\left(k, \frac{\pi}{2}\right) \quad (6)$$

$$n^2 = \frac{B}{P} \quad (7)$$

$$k = \frac{\sin \alpha}{2} \quad (8)$$

ここで、 $w$  はウエール間隔、 $l$  はループ長、 $B$  は糸の曲げ剛さ、 $P$  はループ脚部に作用する力、 $\alpha$  はループ脚部のなす角の角度を表す。また、 $F(k, \phi)$  は第 1 種楕円積分

$$F(k, \phi) = \int_0^{\phi} \frac{du}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 u}} \quad (9)$$

を、 $E(k, \phi)$  は第 2 種楕円積分

$$E(k, \phi) = \int_0^{\phi} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 u} du \quad (10)$$

を表す。

この理論を元に、式(1)~(8)を使用してニットループの 3 次元曲線を計算し出力するアルゴリズムを作成した。このアルゴリズムにより描かれた糸軸曲線を CT 測定データと比較したところ、上記アルゴリズムによる糸軸曲線も CT 測定データと同様にループの yz 平面、すなわち、コース方向からの投影図がサインカーブに近い曲線を描いていることが確認された

### 4. シミュレーションソフトの開発

上記モデル化手法を実際の現場で使用する場合には、入力された編目記号および編成記号に従いニット組織の立体構造を 3 次元モデルとして出力する機能が必要となる。そこで、上記試験研究結果を元に、開発済みの織物 3 次元モデリングソフトウェアを改良し、編地対応の 3 次元モデルを生成するソフトウェアを開発した。

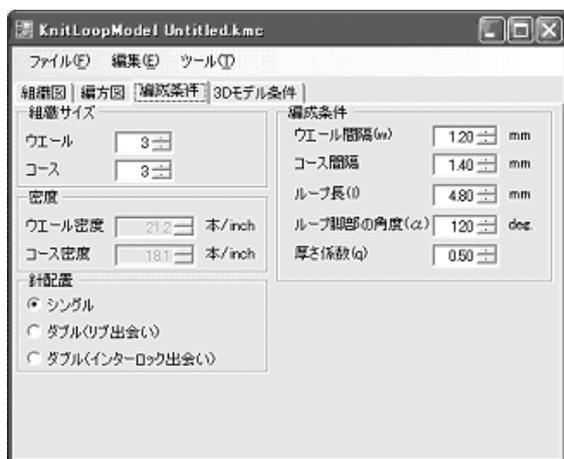
#### 4.1 ニット組織 3 次元モデリングソフトウェアの開発

上記結果を元に、編地の 3 次元モデルを生成するソフトウェア KnitLoopModel を作成した。また、前報において開発した織物 3 次元モデル表示ソフトウェア F3DSimViewer ver.2 に改良を施し、編地 3 次元モデル表示ソフトウェア F3DSimViewer ver.3.5 を作成。同ソフトにより編地 3 次元モデル生成ソフトウェア KnitLoopModel が出力した編地の 3 次元モデルを表示可能にした。プログラムの作成には Microsoft Visual

BASIC.Net（入力インターフェースおよびモデル計算部）および Microsoft Visual C++.Net（レンダリング処理・表示部）を使用した。



(a) 編目記号入力画面



(b) 編成条件入力画面

図3 3次元モデル生成ソフトウェア KnitLoopModel

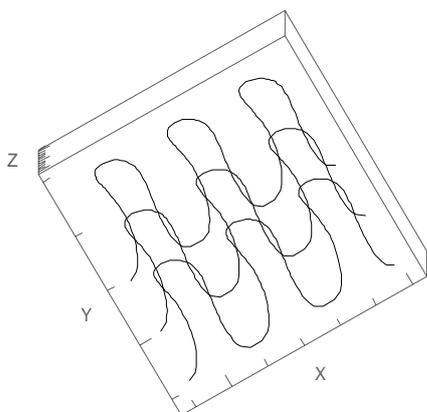


図4 KnitLoopModel で出力したニット平編の糸軸曲線

## 4.2 編地の歪み量予測ソフトウェアの開発

前報<sup>6)7)</sup>において開発した織物 3次元モデル曲面変形予測計算ソフトウェア F3DCurvedSim に改良を施し、コース方向、ウエール方向への伸張についてループ長が変化しない領域における伸張変形モデルを構築。同変形モデルを用いて編地 3次元モデル曲面変形予測計算ソフトウェア F3DCurvedSim ver.2 を作成した。その結果、同ソフトにより編地 3次元モデル生成ソフトウェア KnitLoopModel が出力した編地の変形予測計算を可能とした。

## 4.3 計算処理の高速化

上記手法においては、多数の編地 3次元モデルを逐次計算するため、曲面全体の変形形状計算に多大な時間を要している。そこで、上記手法による計算処理の高速化を図るため、戦略的創造研究推進事業(CREST)「大規模シミュレーション向け基盤ソフトウェアの開発」で開発された行列計算ライブラリインタフェース SILC および反復解法ライブラリ Lis<sup>15)16)</sup>を使用し、編地 3次元モデル曲面変形予測計算ソフトウェア F3DCurvedSim ver.2 に対して上記 SILC および Lis ライブラリを編地変形予測アルゴリズムの中に組み込み、計算処理の高速化を行った編地 3次元モデル曲面変形予測計算ソフトウェア F3DCurvedSim ver.2.5 を作成した。その結果、SILC および Lis ライブラリを使用して 2 台の PC で並列処理を行った場合は、1 台の PC で逐次処理を行った場合と比較し約 1.4 倍の高速化が可能となった。当初は 2 台の PC 利用により 2 倍近い高速化が可能であると予測していたが、2 台の PC 間の通信処理により動作遅れが生じるためことと、プログラムの最適化が行われていないため 1.4 倍程度の高速化に留まっていたものと考えられる。これについては、マルチ CPU 搭載の PC 等に適用することで解決するものと予想される。

## 5. 変形予測の評価

### 5.1 歪み量測定装置の作成

歪み量予測手法の評価のため、接触圧測定装置（レスカ製 FIT-1A）内径が 113mm の半球曲面に布帛を変形させることが可能な膨張力試験特殊治具（ボールドウィン製）を使用し、2 台のデジタルカメラ（ニコン製 COOLPIX L5）によるステレオ測定により編地の曲面形成時における歪み量および試験治具と布帛間の圧力を測定する装置を試作し、布帛の変形形状の測定を行った。3次元計測については徐の Image-Based Modeling and Rendering (IBMR) アルゴリズム<sup>17)</sup>を用いた。また、膨張力試験特殊治具は曲面形状が既知であることから、治具の正面像から割り出した 3次元座標との比較を行っ

た。その結果、3D-Modeでの測定結果と一致し、歪み量の測定が可能であることが確認された。

なお、本研究試験においては2台のデジタルカメラ画像からIBMRにより3次元測定を行ったが、死角が発生し、全領域の3次元計測が1度に行うことができなかった。死角を補うためにも3台以上のデジタルカメラ画像からの測定が望ましいと考えられる。

## 5.2 変形予測精度の評価

開発したニット組織3次元モデリングソフトウェアの精度を検証するため、検証用編み地を作成し、歪み量測定装置での測定結果と、ニット組織3次元モデリングソフトウェアの予測結果を比較。ニット組織3次元モデリングソフトウェアによる変形予測精度の評価を行った。アクリル系およびレーヨン系により評価用編み地を作成。上記歪み量測定装置で測定を行うと共に、ニット組織3次元モデリングソフトウェアの変形予測を行った。その結果、測定結果と予測結果の間には5~10%程度のずれが生じていた。この原因として、編地の歪み量予測手法の開発時において、コース方向、ウエール方向への伸張のみを想定していたため、2軸変形における形状変化を正確に再現していないなどの理由が考えられる。これについては2軸変形における形状変化のモデルが対応可能なように引き続きアルゴリズムの改良を実施する必要があると考えられる。また、交錯点においての糸の変形についても、横圧縮変形解析および予測手法を開発し、同手法に改良を重ねニットループに応用することにより精度向上が可能と考えられる。

## 6. 結び

本研究では実際のニット生地について構造の解析を行い、解析結果を元に3次元構造モデルを構築する手法を開発した。ニットループをエラスチカとして近似した糸軸方程式を改良し、ニットループを3次元モデルとして表現するアルゴリズムを開発した。この結果、上記アルゴリズムを使用することで、指定した編方図や糸番手等の編み地設計条件から編地の3次元モデルを生成することが可能となった。

本研究の成果を利用することにより、自動車産業におけるシートファブリックについてのCAEが実現の他、医療分野においてカテーテル、ステントなどの治療・手術用器具に緯編ニットが使用されており、本試験研究の成果を応用することで、患者の症状や体形にあった治療用器具が開発できるものと考えられる

## 謝辞

本研究の実施にあたり、東京工業大学大学院理工学研

究科 大山 真司 助教授、高山 潤也 助手、近畿大学 物理工学部 篠原 寿広 助手には産業用X線CTによる平編地の計測結果の提供を受けました。また、科学技術振興機構「大規模シミュレーション向け基盤ソフトウェアの開発」プロジェクトの梶山民人研究員には反復解法ライブラリについて、大阪大学大学院工学研究科 若松 栄史 助教授には線状物体の変形シミュレーション手法の検証について、金沢大学大学院自然科学研究科 喜成年 泰 教授、石原 亮平氏には糸の変形解析についてご指導・ご協力をいただきました。さらに、東京大学生産技術研究所 吉川 暢宏 教授、桑水流 理 助手には有限要素法による変形解析について様々なご教授をいただきました。心より感謝致します。

なお、本研究のうち編地の歪み量予測手法の開発、ソフトウェアの高速化、および変形予測評価試験については、独立行政法人科学技術振興機構 平成18年度シーズ発掘試験研究「編地の3次元モデリングおよび変形予測手法の研究」により実施した。

## 文献

- 1) 池口, 太田: 愛知県産技研研究報告, 4, 188 (2005)
- 2) 特開 2006-24609
- 3) 太田: 学位論文, 金沢大学(2005)
- 4) 太田, 池口: 愛知県産技研研究報告, 4, 192 (2005)
- 5) 特開 2006-100230
- 6) 太田, 池口: 愛知県産技研研究報告, 5, 178 (2006)
- 7) 特願 2007-100230
- 8) S.V.Lomov, G.Huysmans, I.Verpoest: *Text. Res. J.*, 71 534(2001)
- 9) S.V.Lomov, I.Verpoest: 10th European Conference on Composite Materials (ECCM-10) Proceedings, Brugge, Belgium, CD-ROM(2002)
- 10) 篠原, 高山, 大山, 小林: 計測自動制御学会論文集, 40, 1000 (2004)
- 11) 篠原, 高山, 大山, 小林: 計測自動制御学会論文集, 41, 879 (2005)
- 12) 篠原: 学位論文, 東京工業大学(2006)
- 13) E.Wakamatsu, S.Hirai: *Int.J.Robotics.Res.*, 23, 293 (2004)
- 14) Leaf: *J.Text. Inst.*, 51, T49 (1960)
- 15) 長谷川ほか: 情報処理学会研究報告, 2004-HPC-100, 37 (2004)
- 16) 小武守ほか: 情報処理学会研究報告, 2006-HPC-108, 7 (2006)
- 17) 徐: 写真から作る3次元CG, 近代科学社 (2001)