

Study on Development of Textile CAD System for Three-dimensional Designing

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/42354

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



博 士 論 文

3次元設計に対応したテキスタイル CAD システムの開発に関する研究 - Study on Development of Textile CAD System for Three-dimensional Designing -

金沢大学大学院自然科学研究科
システム創成科学専攻

学籍番号：0923122203

氏名：安藤 ゆか

主任指導教員名：喜成 年泰

提出年月：2015 年 1 月

目次

第1章 緒論	1
1. 1. 研究の背景	1
1. 2. 従来の研究	7
1. 3. 本研究の目的と論文の構成	9
第2章 編地のシミュレーションモデルを生成するソフトウェアの開発	13
2. 1. 緒言	13
2. 2. 実験装置および開発環境	13
2. 3. よこ編組織のループ形状をモデル化するためのアルゴリズム	14
2. 3. 1. 糸のモデル化	16
2. 3. 2. 基本ループのモデル化と基準点の設定	16
2. 3. 3. 平編（天竺）組織のモデル化	22
2. 3. 4. ゴム（リブ）編組織のモデル化	24
2. 3. 5. パール（ガータ）編組織のモデル化	27
2. 3. 6. ウェルト（ミス）組織のモデル化	30
2. 3. 7. タック組織のモデル化	31
2. 3. 8. タック組織およびウェルト（ミス）組織の下ループのモデル化	33
2. 3. 9. 移し目組織のモデル化	39
2. 4. シミュレーションモデル生成のためのソフトウェアの開発	43
2. 5. 結言	44
第3章 立体成型編製品設計のための CAD システムの開発と着圧の簡易 CAE	45
3. 1. 緒言	45
3. 2. 実験装置および開発環境	46
3. 3. 筒形状の編地をモデル化するためのアルゴリズム	47
3. 3. 1. 筒形状での基準点の設定	47
3. 3. 2. 平編（天竺）組織の筒編地のモデル化	51
3. 3. 3. ウェルト（ミス）組織を含む筒編地のモデル化	51
3. 3. 4. タック組織を含む筒編地のモデル化	51
3. 3. 5. 筒編地におけるタック組織およびウェルト（ミス）組織の下ループの モデル化	52
3. 3. 6. 移し目組織を含む筒編地のモデル化	54

3. 3. 7. 筒編地のシミュレーションモデル生成のためのソフトウェア	56
3. 4. 立体成型編製品設計のための CAD システムの開発へのアルゴリズム応用	57
3. 4. 1. 半球形状に対応した CAD システムの開発	57
3. 4. 2. 浮腫防止サポーター形状に対応した CAD システムの開発	63
3. 4. 3. 心臓サポートネット形状に対応した CAD システムの開発	66
3. 5. 立体成型編ニット製品の着圧予測 CAE	68
3. 5. 1. 着圧を想定した製品設計のための簡易 CAE	68
3. 5. 2. 製品着装時の着圧予測のための簡易 CAE	71
3. 6. 結言	75
第4章 絞りの型紙を設計・製作する CAD/CAM システムの開発	77
4. 1. 緒言	77
4. 2. 実験装置および開発環境	79
4. 3. 絞りの【絵付け・型彫り】工程の CAD/CAM システムの開発	79
4. 3. 1. 元絵の電子化と画像処理	80
4. 3. 2. 元絵に対する杓目絞りの括り位置の割り付け	84
4. 3. 3. 元絵に対する蜘蛛絞りの括り位置の割り付け	86
4. 3. 4. 元絵に対する折り縫い絞りの括り位置の割り付け	88
4. 3. 5. 【絵付け】工程の CAD システムの出力データ	89
4. 3. 6. 【型彫り】工程の CAM システム	89
4. 3. 7. システムで作製した型紙を用いた絞り染め布帛の試作	91
4. 4. 結言	93
第5章 絞り技法を用いた3次元形状布帛の CAD/CAM システムの開発	94
5. 1. 緒言	94
5. 2. 実験装置および開発環境	94
5. 3. 絞り布帛のモデル化	95
5. 3. 1. 絞り加工による布帛形状の変形量の計測	95
5. 3. 2. 3次元形状に沿う絞り製品のための CAD システムの開発	97
5. 3. 3. 力覚提示装置を使用した設計システムの検討	101
5. 3. 4. 絞りを応用した3次元形状織物の試作	102
5. 4. 杓目絞りの括り糸を織り込んだ織物設計のための CAD システムの開発	104
5. 4. 1. 括り糸を織り込んだ織組織図設計のための CAD システムの開発	104
5. 4. 2. 括り糸を織り込んだ織物の試作	106

5. 5. 結言	110
第6章 結論	111
参考文献	116

第 1 章 緒論

1. 1 研究の背景

2次元の計算機支援設計（Computer Aided Design 以下 CAD）システムは1960年代に開発されたのを始まりとして、その後、電気回路の設計、プラント工業における配管設計、土木工業における橋や高速道路の配置設計、都市計画における水路、電線、電話線、ガスの配置設計などに応用された。3次元の CAD の実用化としては、1973年のブタペストで開かれた国際会議で、コンピュータ内で3次元の対象物を表すソリッドモデル（solid model）の発表が始まりである[1]。

シミュレーション（simulation）とは「まねる」を意味するラテン語から派生した言葉といわれ、対象物の振る舞いを別のものや道具を用いて模擬的に実験を行って調べるという意味をもつ。比較的最近まで、CAD による設計とシミュレーションはそれぞれ独立して行われてきた。両者を結び付ける技術がなく、CAD で設計が行われ形状のデータが作られても、それをシミュレーションのために利用することは難しかった。ソリッドモデルが発表されたとき、CAD とシミュレーションの統合化の可能性が開かれた。ソリッドモデルが3次元形状を正確に表すようになり、これをもとにしたシミュレーションが可能になってきている。今日、シミュレーション技術は計算機支援エンジニアリング（Computer Aided Engineering 以下 CAE）と位置付けられ、CAD/CAE という1つの技術として統合化が進んでいる。

現在では機械系、建築系、電気系（回路）、半導体分野、熱解析、服飾デザイン等、CAD システムの普及は多岐にわたっている。工業分野では CAD システムを用いた設計が主流となっており、試作工程を減らすことで、早く低コストでの開発が可能となっている。

さらに、CAD で作成したデータを基に工作機械を操作して加工を行う計算機支援製造技術（Computer Aided Manufacturing 以下 CAM）についても製造業では主流になっている。

繊維産業においても CAD システムは普及し、テキスタイル CAD システム、アパレル CAD システムで出来上がりの状態を予測することが可能となった。現在広く普及しているテキスタイル CAD システムは、糸の配色効果などテキスタイルの柄についてはリアルに表現されており、アパレル用途に用いる場合のデザインを確認するためには有効である。

しかし産業用資材等にテキスタイルを用いる場合、テキスタイルの凹凸感のある表面形状を画面上で確認する要望があるが現状では十分でない。織物に関しては表面の凹凸形状や糸の密度差を表現した CAD システム[2]、織物を3次元形状にモデル化した CAD システム[3]など表面形状や3次元形状を確認できる CAD システムが開発されている。また、

柔らかく、複雑な曲げ、伸縮といった挙動を持つテキスタイル素材を使ったアパレル製品の出来上がりの表現は難しく、アパレル CAD の 3 次元表現の技術分野は他の分野より遅れている現状である。よって、スタンダードなパターンにテキスタイルのドレープ性等を生かした着装シミュレーションは行われているが、新たなパターンの製品については CAD システムについても新たに開発する必要がある。テキスタイルの製造に関しても、コンピューター制御の織機、編機が開発され、テキスタイル CAD で設計された組織データを基に CAM で直織、直編できるようになった。

よこ編に代表されるニット（編地・編物）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。

西暦 3 世紀のシリアの毛糸素材のニット、古代エジプト時代の靴下状のニットが発見されており、ニットの歴史の始まりと考えられる。ニットの技術は中近東地区で発生し、その後ヨーロッパに伝わり、セーターの原型が作られた。1589 年イギリス人牧師、ウィリアム・リーが足踏式による靴下編機（よこ編）を発明し、1775 年同じくイギリスで経編機（トリコット編機）が登場した。編機の改良が進み手編から機械編の時代へと移行していった。1849 年にはイギリスのマッシュュー・タウンゼントが現代多くの編機に採用されているベラ針を考案した[4]。

ニットは日本には江戸時代に輸入伝来したとされており、ポルトガル語のメイアッシュ、スペイン語のメジアスが転訛して、編地および編物全般をメリヤスと呼ぶようになった。主に武士が殿中に出仕する際の足袋として広まった。1954 年にミシンメーカーのブラザー工業㈱が家庭用編機を売り出したことで日本全国の家庭でブームになり、編物が衣料用生地の主要な位置を占めるようになった。

近年データ処理技術が発達したことで横編機の技術革新により柄の多様化が始まった。1975 年ドイツの STOLL 社がコンピューター制御両面ジャカード横編機を世界で初めて発表した。1995 年には㈱島精機製作所が無縫製で立体形状をダイレクトに編成できる無縫製横編機を世界で初めて発表した[5]。それまで成型編みしたパーツを縫製して生産されていたセーター等の製品が、無縫製横編機を用いると、図 1-1 に示すように編みあがった時に端の糸処理をするだけで製品形状になってできあがる。



図 1－1. 無縫製ニット製品の製品例

ニット製品の主な3つの生産工程すなわち、丸編み生地を裁断・縫製するカット&ソーの工程，パーツを縫製して生産する成型編み工程，無縫製横編機を用いた製品の生産工程のフロー図を図1－2に示す。

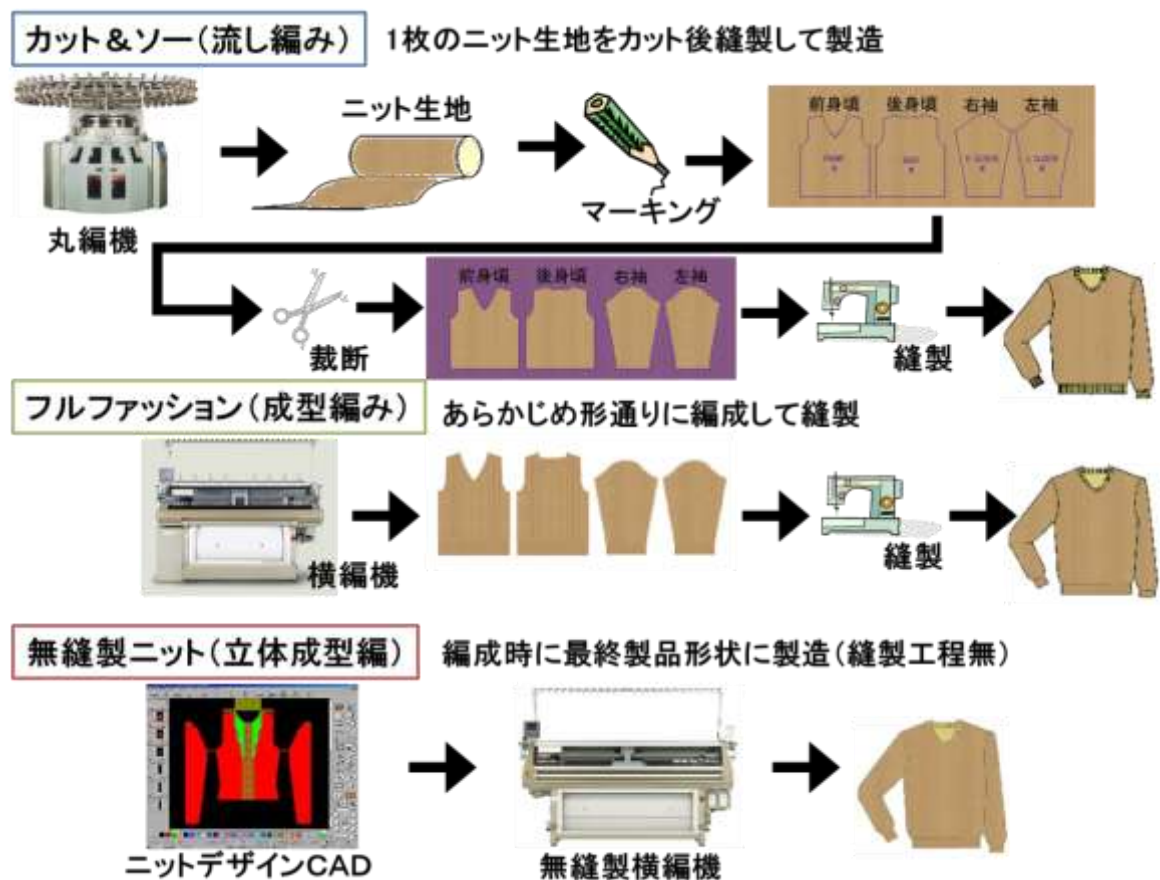


図 1－2. ニット製品の生産工程のフロー図

よこ編に代表されるニットはその伸縮性と立体編成等が可能な新しい編機の登場によって、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、伸縮性や着圧等の性能を予測できないことが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、サンプル作製の手間を省き、製品開発の効率化を図ることが可能になる。

また、無縫製横編機を使った立体成型編において、アパレル製品については編機メーカーのニット CAD システムに、あらかじめ入っている型紙のデータベースも豊富で設計は容易になっているが、データベースに型紙の無い形状の設計は難しく、3 次元 CAD システムで作製された 3 次元形状データに合わせた製品づくりは、編機メーカーのニット CAD システムも対応していない。ニットは伸縮性があるなどの構造上の特徴から産業用資材、医療用製品といったこれまでに無い製品形状への展開の要望は多い。しかし、ニット製品の生産者は 3 次元 CAD システムは導入しておらず、逆に産業用資材を扱う分野では 3 次元 CAD での設計が一般的である。型紙データの無いニット製品の設計は困難であり、両者の橋渡しとなるシステムが必要であると考えられる。

絞り染めは、日本独自のものではなく世界各地で行われてきた染色法で、インド、中国での歴史が古く、日本では 4 世紀、5 世紀頃には絞り染めが始まり、奈良時代に高度な技法が伝来したと考えられている。絞りの技法は、平安時代に急速に発達し技法の数が増えた。江戸時代前期までは、絞り染めは絹織物に施され、高価で庶民が着用することも禁じられていたが、江戸時代半ばに綿布が普及し、愛知県の有松・鳴海地方で綿布に施されるようになってからさらに絞りの技法が発達した。有松・鳴海地方で木綿に絞り染めを施したものを街道沿いで売り出したことで、絞り染め製品は人気となり、有松・鳴海地方は木綿絞りの一大産地となった[6]。

伝統技法『絞り』の一手法である『有松・鳴海絞り』では製品の生産を、【絵付け】・【型彫り】・【括り】・【染め】・【縫製】の各工程に分業化し、産業として発展させ栄えてきた歴史がある[7, 8]。しかし現状では『絞り』の加工費削減のため、『括り』の工程は中国など海外で行われている。各工程の作業地域が分散し、絞り製品の企画設計に相当する【絵付け】・【型彫り】工程の担い手がいなくなっている。そのため将来的に絞り製品の

企画設計が行えず、製品の生産が困難になることが考えられる。

絞りの括りを行うためには、どこに括りを施すか布帛に印をつける必要がある。括りの位置の印は、括りの位置に穴を開けたフィルムの型紙を使って布帛に捺染する。その型紙作製の工程が【絵付け】・【型彫り】工程である。【絵付け】・【型彫り】工程は全て手作業で行われるため、型紙ができるまでに数日間（5日前後）の日程を要する。【絵付け】・【型彫り】工程で作製した型紙を用いて括りの位置を印した布帛を、括り用の糸で縫った後糸を引き締める「縫い絞り」、括る位置の布帛をつまんで糸を巻く「巻き上げ絞り」等の作業が【括り】工程である。【括り】工程では、巻き上げ絞りでは機械化された道具を用いるが、手作業が多く、作業日程としては数日から数週間要する。図1－3に絞り製品の生産工程のフロー図を示す。

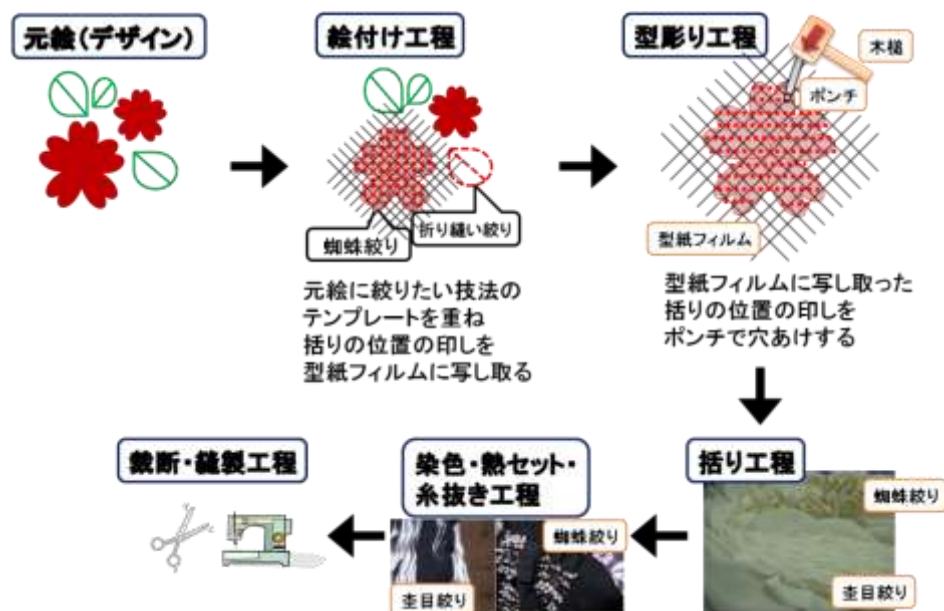


図1－3. 絞り製品生産工程のフロー図

【絵付け】工程をCAD化し、【型彫り】工程をCAM化しシステム化して括り位置捺染の型紙を作製できれば、数日間かかっていた【絵付け】・【型彫り】工程が数時間に短縮できると考えられる。また【絵付け】・【型彫り】工程の代替となるCAD/CAMシステムとすれば、工程の簡略化以外にも工程が各データとして保存可能となるため、【絵付け】・【型彫り】工程の技術を持たない者でも絞り製品の企画設計が可能となる。絞り製品の企画設計が誰にでも行えるようになれば、これまで『絞り』に関心を持たなかった用途へ新製品の提案がしやすくなる。

一方で絞り技法は染め模様だけでなく、布帛を3次元的な凹凸形状にセットすることが

できる技法である[9. 10]. 括りを行った布帛を熱セットする『絞り加工』は、絞りの形状や伸縮性等を生かすことで、絞り技法を伝統工芸品にとどまらず機能性製品へ取り入れることも可能にする. 図1－4に『絞り加工』の形状を生かしたアパレル製品例を示す. 『絞り加工』を利用して、用途に合わせた3次元的な凹凸感のある布帛を設計することで『インテリア製品』『伸縮性とゆとりによる動きやすさを持つ機能性衣服』など、絞りの独特な特性を生かした新たな製品展開も期待できる.



図1－4. 絞り加工の形状を生かした製品例（ブラウス）

ニットや絞り染めした布帛は伸縮性に富み、3次元形状にフィットしやすい特性を持つテキスタイル素材である. そこで産業用資材, 医療用製品, インテリア製品といったこれまで無かった製品形状に使用したいという要望は多い. しかし, ニット製品や絞り染め製品では, これまで無かった製品形状に対応する CAD システムはなく, 現状では試作を繰り返し新しい製品の開発を行っている. ニット製品についても, 絞り製品についても, 試作作業に要する工程数は本生産とほとんど同程度であり, テキスタイルデザイナーのイメージに合った製品を得るまでの時間とコストは, 企業にとって大きな負担となっている.

ニット製品, 絞り製品のできあがり形状や柄のイメージを, 瞬時に表示できるテキスタイル CAD システムを開発することで, テキスタイルデザイナーのイメージに合った製品を得るまでの時間とコストを低減できるため, それらの開発が期待されている.

1. 2. 従来の研究

ニットの編目の幾何学形状の研究は古くから行われており, Peirce[11]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[12]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. それ以来ループ長, 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[13].

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[14], 糸の解撚トルクエネルギーから斜行のシミュレーションを行っている[15]. 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[16], ミス(ウェルト)組織[17], タック組織[18]の各種組織のモデル化を行っている. 若松らも, 糸の曲げ剛性や糸のねじり剛性といった変形特性と編成パラメーターを入力することで, 平編地の 3 次元形状モデリングに加え, 糸の解撚トルクにより起こる編地の斜行やカーリング度合いのシミュレーションを行っている[19-21]. またアラミド繊維等を用いた編物複合材料のモデリングを行い, シミュレーションによる複合材料の力学特性を予測する手法についても検討を行っている[22]. 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. また製品形状としたときのモデリングや力学特性のシミュレーションではないため, 製品設計を効率化するための 3 次元モデル作成とはなっていない.

鈴木ら[23]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 次元的に表現し, 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えるよう行っている. 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[24]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[25]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。

絞り染めについては、これまでに柄や技術伝承のための研究が行われており、内田らによる杢目絞りの柄の発現のシミュレーションを行った研究がある[26-28]。より正確な杢目絞り柄のシミュレーションを行い、熟練者と素人それぞれの絞り柄の特徴を元に絞りの柄を定量的に評価している。川添らは絞り染めにおける染料移動モデルを用いて染料供給分布を計算することで、染物独特の手作業による不確実な要素をランダム性によって表現した絞り染めの柄をシミュレーションしている[29, 30]。西堀らは蜘蛛絞りの括り工程を行うことのできるロボットを開発した[31-33]。布帛に印された括りの位置をゴムキャップ上に置き、ニードルで布帛をゴムキャップへ押し込むことでゴムキャップを装着し、蜘蛛絞りの括りを行うというロボットである。糸の代わりにゴムキャップを使用しているため、絞りの柄に少しの違いは見られるが、新たな絞り柄として表現されている。

一方で絞り技法は染め模様だけでなく、布帛を3次元的な凹凸形状にセットすることができる技法である[9, 10]。『絞り加工』を利用して、用途に合わせた3次元的な凹凸感のある布帛を設計することで『インテリア製品』『伸縮性とゆとりによる動きやすさを持つ機能性衣服』など、絞り加工の持つ独特な伸縮性などの特性を生かした新たな製品展開も期待できる。

藤井は、杢目絞りの伸縮性を利用した着脱しやすい病衣の開発を行っている[34]。袖ぐりなど着脱時にゆとりの欲しい部分を杢目絞りで加工し、杢目絞りの伸縮性で着脱しやすいが、着用時の見た目の日常性と着心地を確保した衣服について報告している。

1. 3. 本研究の目的と論文の構成

本研究では、ニットおよび絞りの繊維製品について3次元モデル化、3次元形状に合わせた設計を行うCADシステムの開発を行った。

前述のとおり、産業用資材、医療用製品といったこれまで無かった製品形状にニットを使用したいといった要望は多い。しかし、ニット製品の生産者は3次元CADシステムは導入しておらず、逆に産業用資材を扱う分野では3次元CADでの設計が一般的である。型紙データの無いニット製品の設計は困難であり、両者の橋渡しとなるシステムの開発を目的とした。図1－5に従来のニット設計技術と開発するCADシステムで編組織データを作成する概略図を示す。

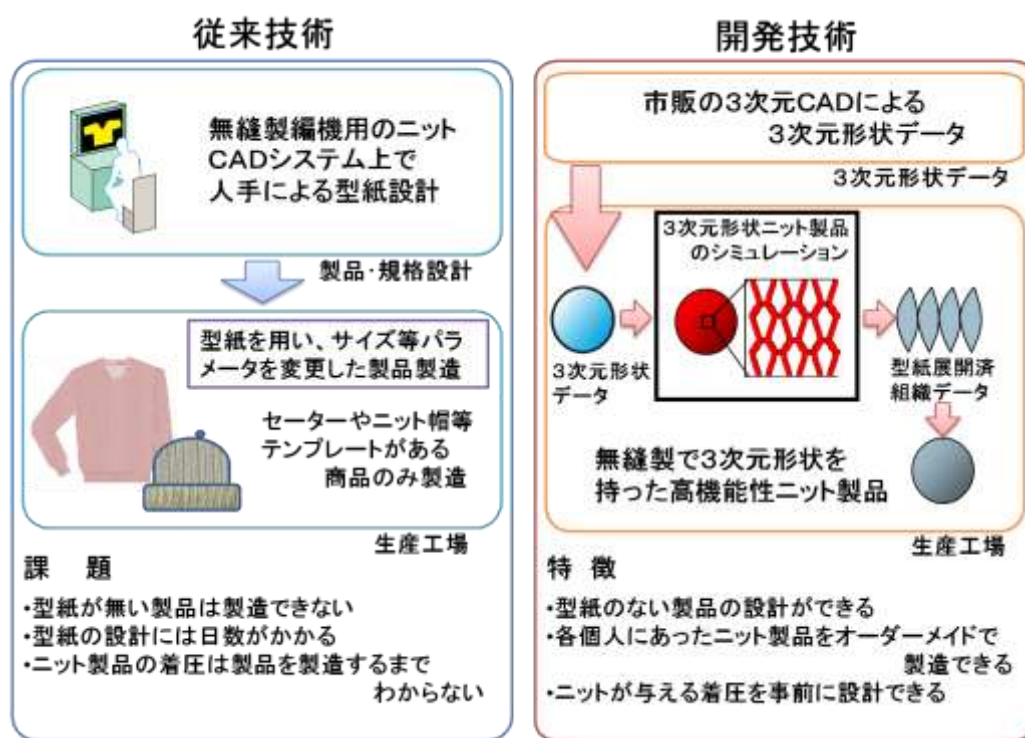


図1－5. 従来技術と開発するシステムの比較

絞り製品の生産において、各工程の作業地域が分散し、絞り製品の企画設計に相当する【絵付け・型彫り】工程の担い手がいなくなっている。そのため将来的に絞り製品の企画設計が行えず、製品の生産が困難になることが考えられる。そこで【絵付け・型彫り】工程の技術を持たない者でも絞り製品の企画設計が可能な【絵付け】工程のCADシステムと【型彫り】工程のCAMシステムの開発、また『絞り加工』を利用して用途に合わせた3次元的な凹凸感と伸縮性のある布帛を設計するCADシステムの開発を目的とした。

第2章「編地のシミュレーションモデルを生成するソフトウェアの開発」と第3章「立体成型編製品設計のための CAD システムの開発と着圧の簡易 CAE」における研究の目的は、ニット製品の企画設計データを基にしたニット製品の3次元シミュレーションモデリングとその表示、3次元形状データを基にした立体編成用データ設計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次元シミュレーションモデルとして表現できれば、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。

第2章、第3章のニットについて、用語と算出されたデータは次のように定義する。

- ニットという言葉は1語で、「編地」「編む動作」「編製品全般」を指すが、本論文では編地はそのまま「編地」、編む動作は「編成」と記述し「ニット」は分類を示すこととする。
- 平面状の編地は「編地」、筒形状の編地を「筒編地」、編地が3次元形状となる編地を「立体編成編地」とする。
- 立体編成編の基になる3次元形状データを「CAD データ」とする。
- 1つの編目について、各よこ編組織のループ形状をモデル化し、生成された3次元形状のモデルを「ループ形状モデル」とする。
- ループ形状モデルを組み合わせ編地として生成したモデルを「編地シミュレーションモデル」とする。
- 立体編成編し3次元形状となる編地を「立体編成編シミュレーションモデル」および「製品シミュレーションモデル」とする。
- シミュレーションモデル生成に伴い編組織図を設計する場合のソフトウェアを「CAD システム」とする。
- 着圧を考慮した設計およびニット製品の着圧を予測する場合は「簡易 CAE」とする。

第2章では、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た。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した。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ループ形状の3次元モデリングを行い、それらの組織で構

成される編地シミュレーションモデル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。

次に第3章において、編地シミュレーションモデル生成のアルゴリズムを、筒編地のモデル化に応用することについて検討した。筒編地に対し、減らし目組織を加えることで3次元形状のニット製品のモデル化を行えると考え、CFRTPのニット基材を想定した半球形状、リンパ浮腫軽減のためのサポーター形状、心拡大リモデリングのための心臓サポートネット[35]のモデル化と、CADデータ等からの設計のアルゴリズムについても検討した。

3次元形状の立体成型編については、着用時に一定の着圧がかかる状態となることが必要となる製品も多い。そこで対象物に編地を被せたとき着圧のかかる状態で設計するアルゴリズムについて検討した。また、心臓サポートネットを心臓に装着した場合の予測の着圧分布を可視化するための検討も行った。

第4章「絞りの型紙を設計・製作するCAD/CAMシステムの開発」と第5章「絞り技法を用いた3次元形状布帛のCAD/CAMシステムの開発」における研究の目的は、手作業で行われている、絞りの【絵付け】工程、【型彫り】工程、杓目絞りの【括り】工程の代替となるシステムを開発することである。

第4章、第5章の絞り染めについて、用語と算出されたデータは次のように定義する。

- 絞り染めを行う場合は「絞り染め」、凹凸形状をセットする場合は「絞り加工」とする。
- 布帛を3次元的な凹凸形状にセットするための、基になる3次元形状データを「CADデータ」とする。

第4章では、【絵付け】工程をCADシステム化するために、「手描きの元絵を電子化する」「描画ソフトで元絵を描く」等してパソコン上で処理できるよう電子化し、電子化した元絵に自動で括りの位置を割り付けするために、各絞り技法のテンプレートに対応するアルゴリズムについて検討した。次に、割り付けられた絞りの位置をカッティングマシンを用いてフィルムに穴を開けることで【型彫り】工程のCAMシステムとなると考え、割り付けた絞りの位置をカッティングマシンで穴あけ作業の代替として検討した。

第5章では、布帛を3次元的な凹凸形状にセットすることができる『絞り加工』を利用

して、用途に合わせた 3 次元的な凹凸感のある布帛を設計することについて検討した。
『インテリア製品』『伸縮性とゆとりによる動きやすさを持つ機能性衣服』など、絞り加工の持つ独特な伸縮性などの特性を生かした新たな製品を想定した試作品を作製した。

杁目絞りの【括り】工程は、約 10mm～20mm 間隔の横縞となるよう並縫いした糸を絞る技法である。括りの糸を並縫いする代わりに、織物を織る段階で約 10mm～20mm の間隔で緯糸として織り込むことができれば、並縫いの工程を機械化することができると考えた。括りの糸を織り込むためには、括りの糸が杁目絞りの型紙どおり並縫い状に織り込むための織組織図を設計する必要がある。【絵付け】工程の CAD システムで作成した型紙データを元に括りの糸が織り込まれるよう、織組織図を設計するソフトウェアを開発するためのアルゴリズムを検討した。

また、開発したシステムで試作品を作製した。従来の絞り製品とシステムを用いて作製した試作品の違い等を検討した。

第 6 章「結論」では、本研究を総括しまとめる。

第2章 編地のシミュレーションモデルを生成する ソフトウェアの開発

2. 1. 緒言

本章では、よこ編組織のループ形状の3次元モデル化および編地のシミュレーションについて述べる。よこ編組織のループ形状を3次元モデル化するアルゴリズムについて検討し、よこ編地のシミュレーションモデルを生成するソフトウェアの開発を行った。

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た。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した。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ループ形状の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シミュレーションモデルを表示するソフトウェアを開発した。

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[11]、Leaf[12]等の幾何学理論の数式を用いれば、天竺組織の基本ループを3次元モデリングすることができる。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り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、その一つ一つの座標の移動を計算するには時間がかかる。そこで、各組織のループを描画する前に、基準点を設定することで、速やかに変化組織を含む編地のモデル化を行うアルゴリズムについて検討した。

2. 2. 実験装置および開発環境

ソフトウェア開発環境としては、OSとしてMicrosoft Windows XP、プログラム言語はMicrosoft 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。

サンプル編地の厚さ測定を行うため、株島津製作所製の厚さ計 (Automatic Micrometer) を用いて編地の厚さを測定した。その写真を図 2 - 1 に示す。



図 2 - 1. 使用した厚さ計の写真

2. 3. よこ編組織のループ形状をモデル化するためのアルゴリズム

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。そこで、組織図から各ループの位置となる基準点と糸の通る中心点となる基準点を算出し、変化組織の基準点も基本ループの基準点を移動することにより算出することで速やかな描画を検討した。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で基準点をつなげるように描くことで、編地の編み初めから編み終わりまでの糸の中心座標を求めることとした。

組織図 (図 2 - 2 (c)) または編方図の入力、ウェール密度、コース密度、共通式番手の設定を基として、編地のシミュレーションモデルを生成するソフトウェアの開発を行った。

図 2 - 2 (a) に本研究で検討し、JIS L 0200-1976 編組織の表示方法で規定されているよこ編組織を示す。ウェール密度は編地の幅 1cm 区間のウェール数、コース密度は編地の長さ 1cm 区間のコース数である。図 2 - 2 (b) 示すように編目の幅はウェール密度の逆数、編目の高さはコース密度の逆数として算出できる。共通式番手は糸の長さ (m) / 重さ (g) であり、共通式番手と織物の理論密度 Ashenhurst の計算式に用いられる直径数の式から、糸の直径を算出できる。

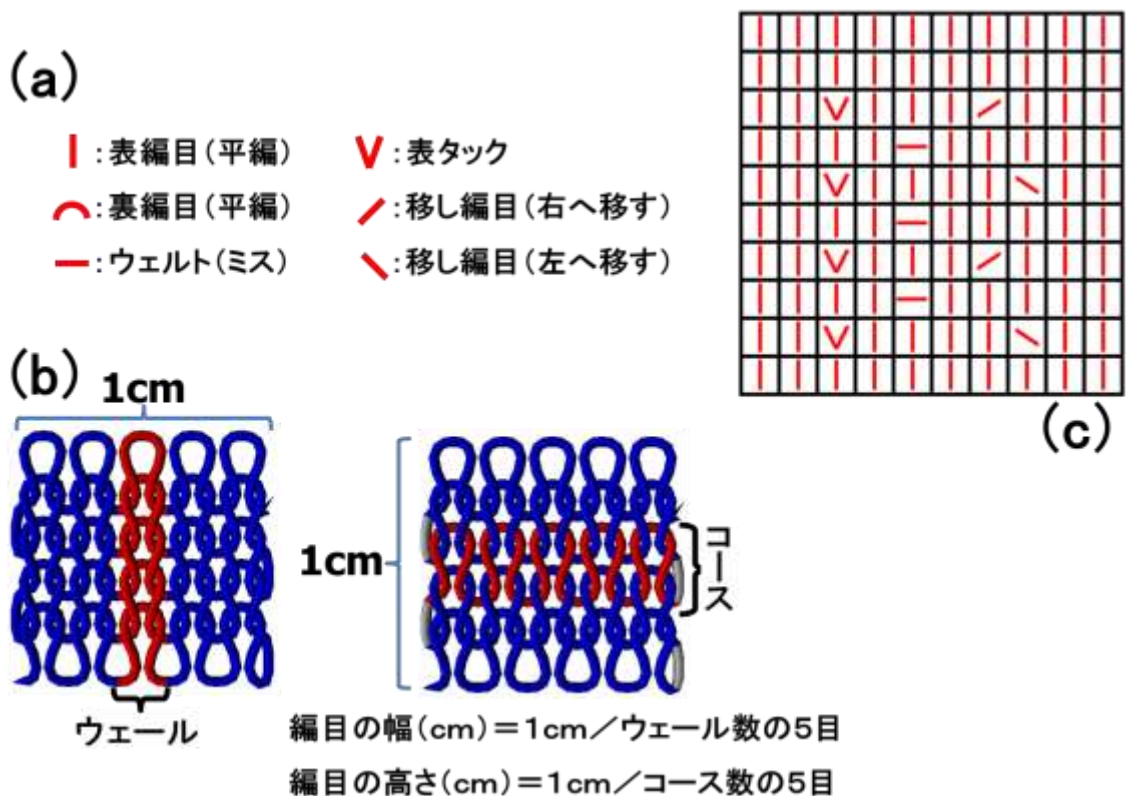


図 2 - 2. 編地の表示方法 (a) 編組織の表示方法 (b) 編目の幅と高さ (c) 編地の組織図

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 点の糸中心座標をカーディナルスプライン曲線の数式により補間した。

補間により 4 点の糸中心座標を求める場合の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

$$\begin{aligned}
 X(n) &= Axt^3 + Bxt^2 + Cxt + Dx \\
 Ax &= T(X_2 - X_0) + T(X_3 - X_1) + 2X_1 - 2X_2 \\
 Bx &= -2T(X_2 - X_0) - T(X_3 - X_1) - 3X_1 + 3X_2 \\
 Cx &= T(X_2 - X_0) \\
 Dx &= X_1 \\
 T &= 0.7
 \end{aligned}
 \tag{2-1}$$

$$t=n / m$$

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 ($m=4$ or $m=9$)

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 (テンション) 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 $T=0.7$ と設定した.

Y 座標, Z 座標についても同様の式で求めた.

2. 3. 1. 糸のモデル化

糸直径は, 設定した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.

$$d = 2.54 / (K\sqrt{840 \times N \times 0.591}) \quad (2-2)$$

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か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.

2. 3. 2. 基本ループのモデル化と基準点の設定

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 番手の綿麻の混紡糸で平編サンプルを作製し, 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, 織物の理論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.

【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．図 2－3 に示すように 1 ループの編目で，上下 2 点の組織の基準となる位置を組織基準点とする．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錯点 2 点に定める．組織図，ウェール密度，コース密度よりより図 2－4 に示すように，編地全体のサイズと各ループの組織基準点を設定する．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．

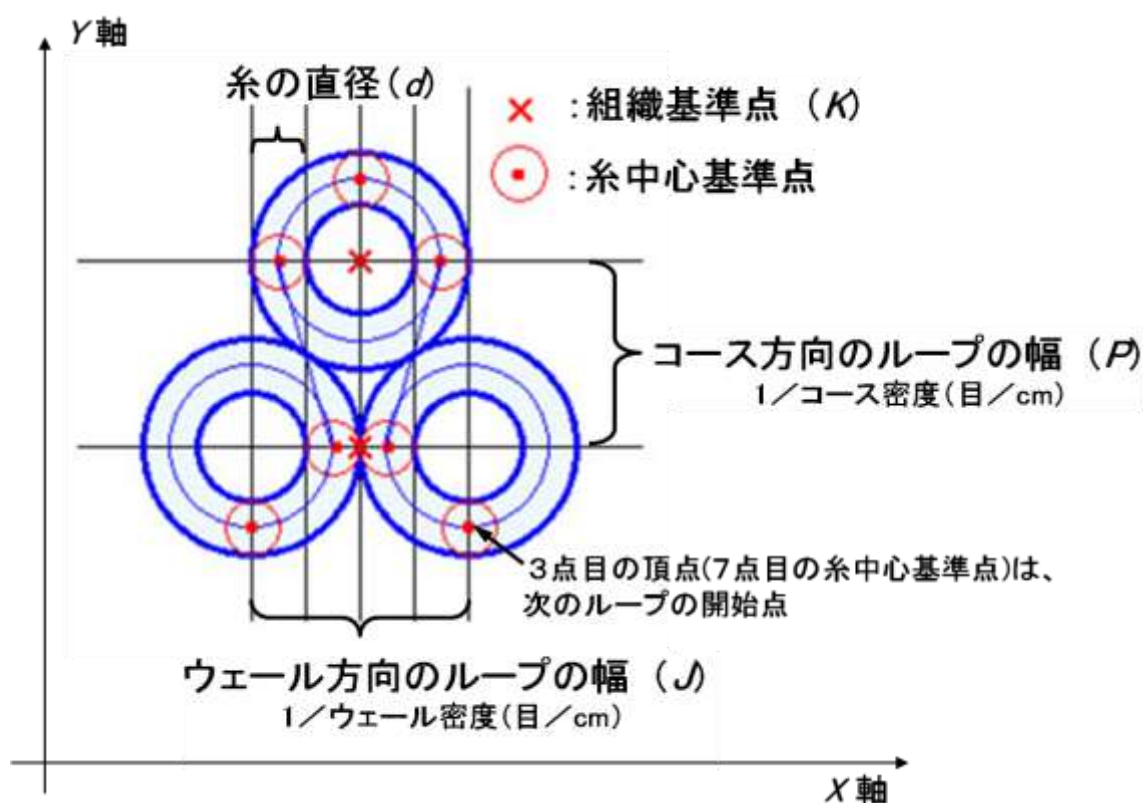


図 2－3. Peirce の簡略図と XY 平面から見た基準点（表面方向）

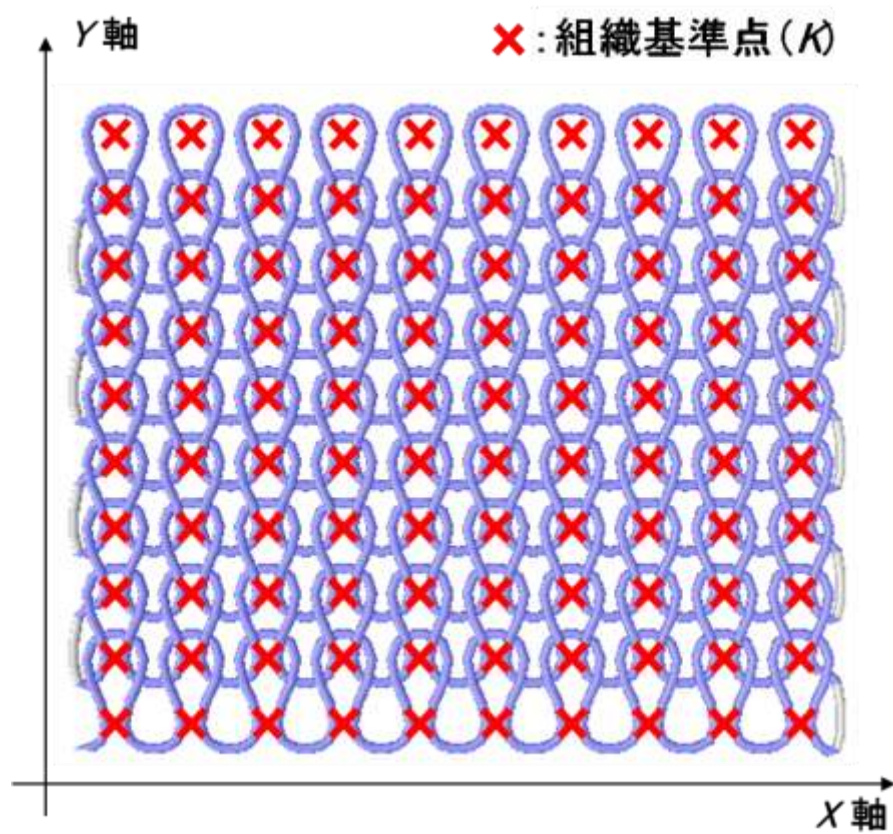


図 2 - 4. XY 平面から見た組織基準点 (表面方向)

【糸中心基準点の設定】

各編目構造をモデル化するため図 2-3 に示すように、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 点の基準点を定め糸中心基準点と定義する。図 2-3 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。

編目の幾何学構造を最初にモデル化した Peirce の簡略図 (図 2-3) を XY 平面、編地の厚さを図 2-5 ように YZ 平面で示す。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) はループの幅の逆数に相当するが、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) の逆数に相当する。

図 2-3 に示す基本的な幾何学モデルでは、平編地ですき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 ℓ 、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。

$$\left. \begin{aligned} P &= 1/C \\ J &= 1/W \\ P &= 3.46d \\ J &= 4d \\ \ell &= 16.7d \end{aligned} \right\} \quad (2-3)$$

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 Ku , 下の組織基準点を Kd) 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、ウェール密度から求められる1ループの幅の端から内側に入り、下の2点はウェール密度から求められる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、次の式とした。

$$\left. \begin{aligned} \kappa 3x &= Ku_x - (J \times 3/8) \\ \kappa 5x &= Ku_x + (J \times 3/8) \end{aligned} \right\} \quad (2-4)$$

Y 座標 ($\kappa 3y, \kappa 5y$) については、次のようになる。

$$\text{糸中心基準点の } Y\text{座標} = \text{組織基準点の } Y\text{座標} \quad (2-5)$$

下の糸中心基準点2点 ($\kappa 2, \kappa 6$) の X 座標 ($\kappa 2x, \kappa 6x$) は、次の式とした。

$$\left. \begin{aligned} \kappa 2x &= Kd_x - (J \times 1/8) \\ \kappa 6x &= Kd_x + (J \times 1/8) \end{aligned} \right\} \quad (2-6)$$

Y 座標 ($\kappa 2y, \kappa 6y$) については、次のようになる。

$$\text{糸中心基準点の } Y\text{座標} = \text{組織基準点の } Y\text{座標} \quad (2-7)$$

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、

$$\kappa 4y = Ku + P \times 1/2 - d/2 \quad (2-8)$$

とし、下の頂点の糸中心基準点 ($\kappa 1$) の Y 座標 ($\kappa 1y$) は

$$\kappa 1y = Kd - P \times 1/2 - d/2 \quad (2-9)$$

とした.

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

$$\left. \begin{array}{l} \kappa 4x = Kux \\ \kappa 1x = Kdx - J/2 \end{array} \right\} \quad (2-10)$$

である.

編地の厚さ方向の Z 座標については, 糸の直径 $d=1.25\text{mm}$ 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. 図 2-5 に示すように, 糸の直径 d 分だけ移動する (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 2.3mm ($d \times 1.8$) 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, 以下の式となる.

$$\left. \begin{array}{l} \kappa 1z = -d \times 0.8 \\ \kappa 4z = -d \times 0.8 \end{array} \right\} \quad (2-11)$$

平編地のサンプルの実測値のループ長 (20.7mm), 3次元モデルの描画のループ長はともに $\phi 16.7d$ (20.8mm) 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.

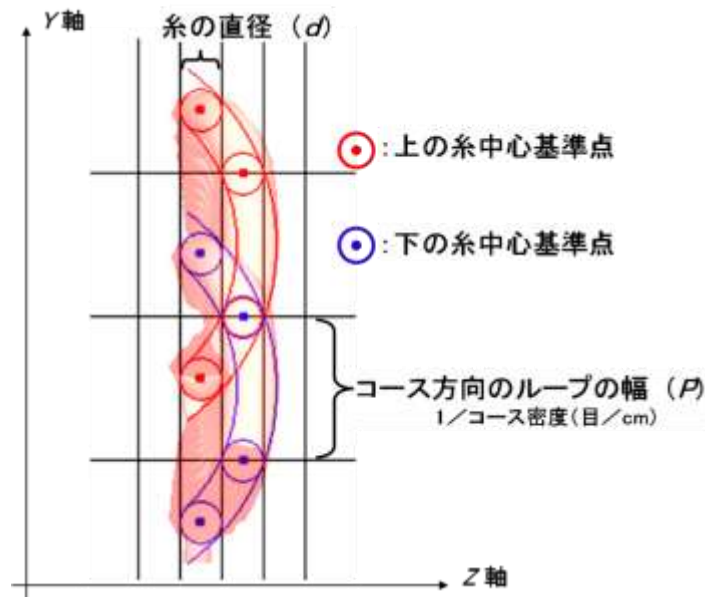


図 2-5. YZ 平面から見た基準点 (厚さ方向)

2. 3. 3. 平編（天竺）組織のモデル化

平編地は図2-6に示すように、同様な編目がウェール方向に同じ方向で繰り返されている編組織である。平編のループ形状をモデル化したときの、組織基準点と糸中心基準点の位置を図2-7に示す。組織図の編目数に組織基準点を算出し、編地の下方から上方へ、また1コースごとに左→右、右→左と糸中心基準点を算出しつなぐことにより、平編組織のループ形状のモデル化を行った。

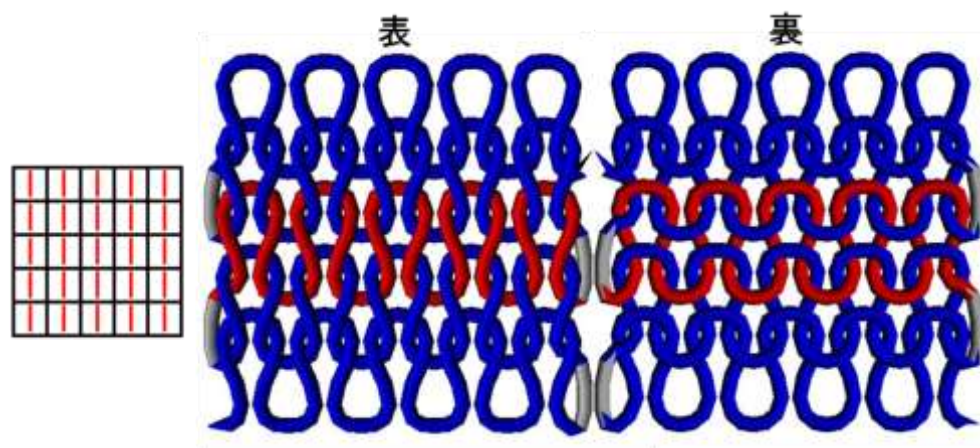


図2-6. 平編（天竺）組織（左から組織図、表面、裏面）

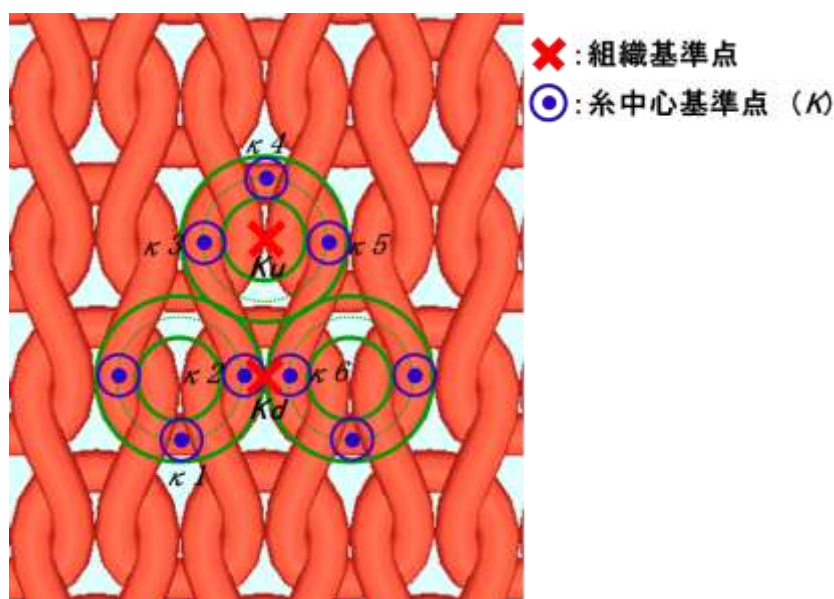


図2-7. 平編（天竺）組織のループ形状モデルと基準点の位置

図2-8に平編地の写真, 図2-9に平編組織の編地シミュレーションモデルを表示した画像を示す。平編組織で、編地の3次元シミュレーションモデルはサンプル編地の編目の形状に近似したループ形状モデルを生成できていることが確認できた。

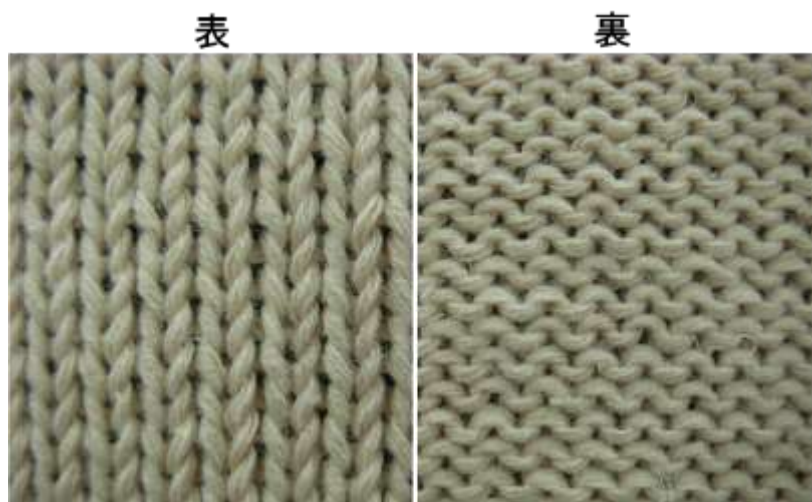


図 2－8．平編（天竺）組織の編地サンプル写真

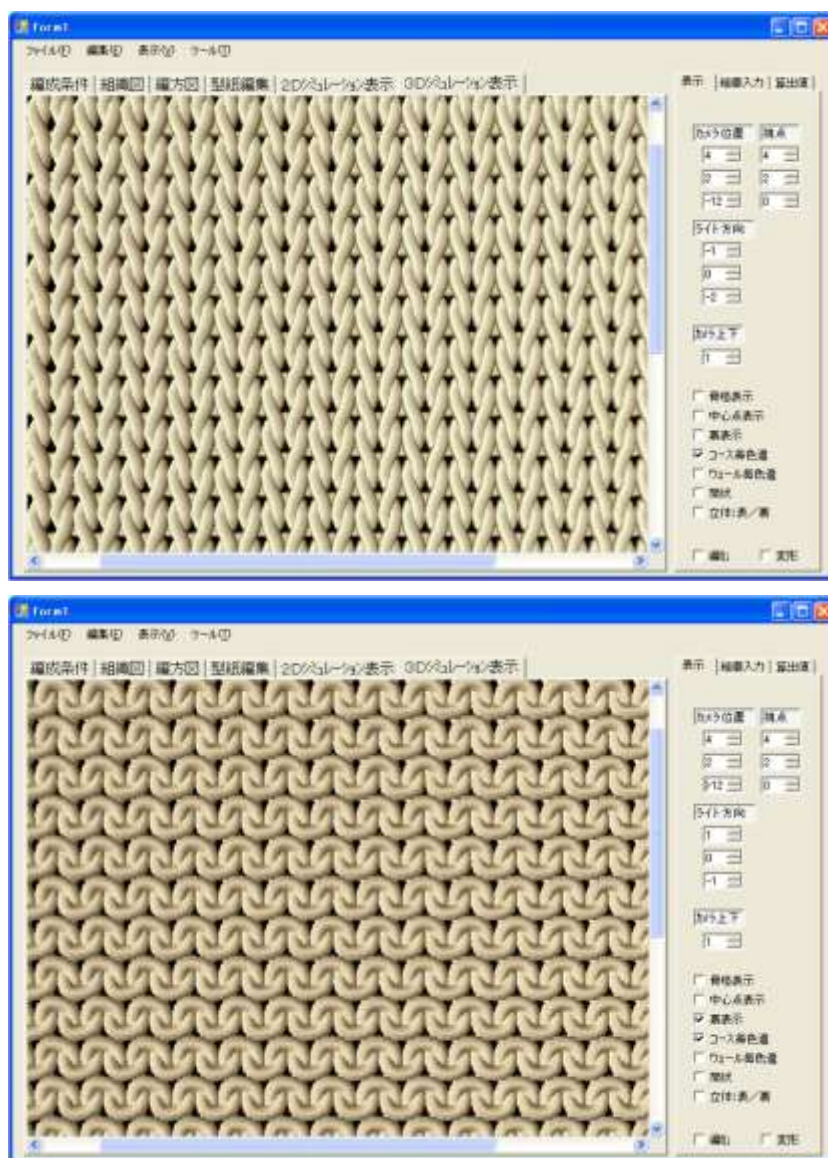


図 2－9．平編（天竺）組織の編地シミュレーションモデル（上：表 下：裏）

2. 3. 4. ゴム（リブ）編組織のモデル化

ゴム編組織のループは編目が図 2-10 に示すように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。基本のループ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、図 2-11 に示すように編地は幅方向で収縮し、厚さ方向は厚くなる。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 $d \times 0.45$ 縮む方向に移動させる。

$$\left. \begin{aligned} Ku_x &= Ku_x - J \times 0.45 \\ Kd_x &= Kd_x - J \times 0.45 \end{aligned} \right\} \quad (2-12)$$

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 方向へ移動させる。基本ループの Z 方向への移動 $-d \times 0.8$ からさらに $-d \times 0.8$ 分移動させる。

$$\left. \begin{aligned} \kappa 2_z &= -d \times 0.8 \times 2 \\ \kappa 3_z &= -d \times 0.8 \times 2 \\ \kappa 5_z &= -d \times 0.8 \times 2 \\ \kappa 6_z &= -d \times 0.8 \times 2 \end{aligned} \right\} \quad (2-13)$$

なお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 3.3mm が近似すると確認できた。

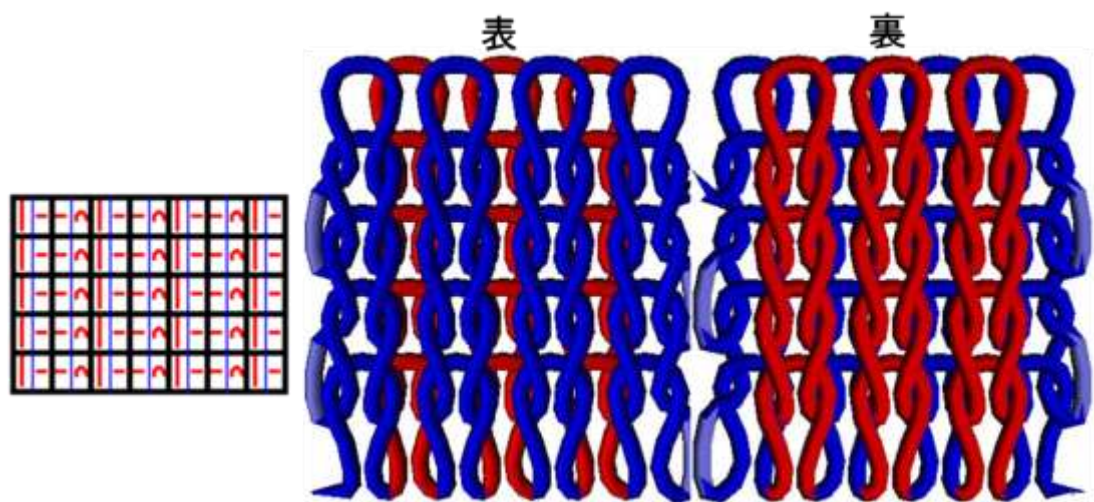


図 2-10. 1×1 ゴム編（リブ編）組織（左から組織図、表面、裏面）

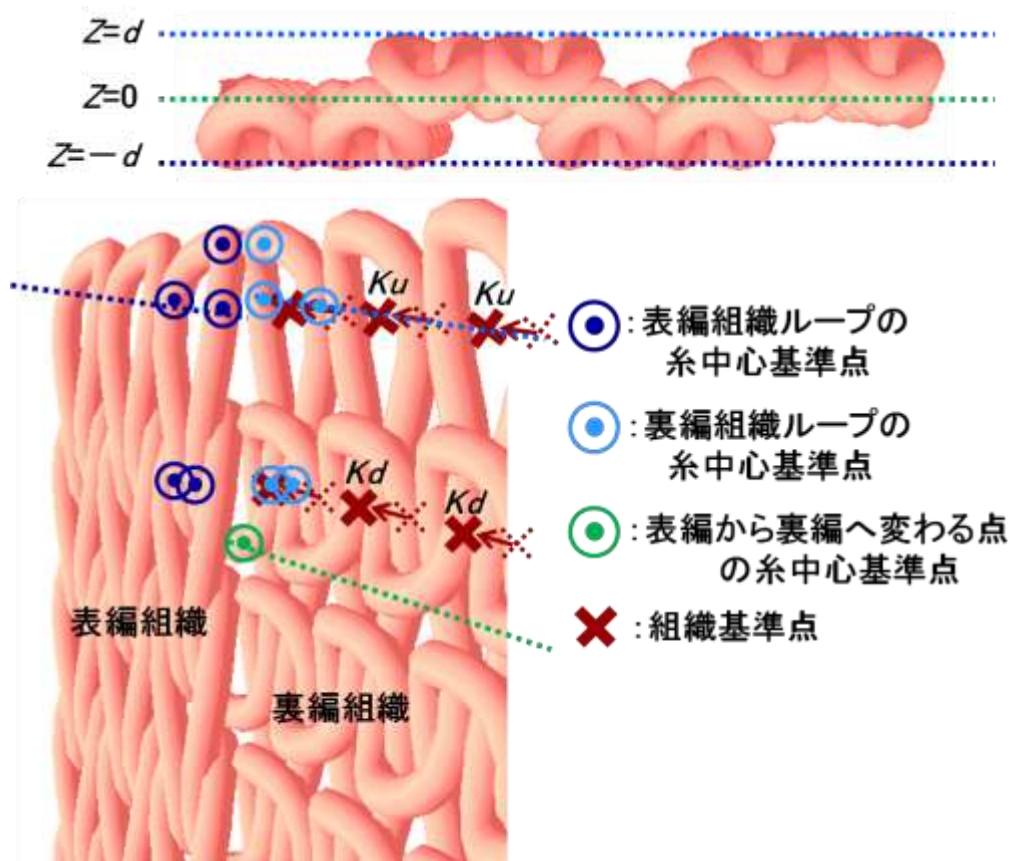


図 2-11. ゴム編（リブ編）組織のループ形状モデルと基準点の位置

図2-12に2×2ゴム編組織の編地の写真，図2-13に2×2ゴム編組織の編地シミュレーションモデルを表示した画像を示す．2×2ゴム編組織で，編地の3次元シミュレーションモデルはサンプル編地の編目の形状に近似したループ形状モデルを生成できていることが確認できた．



図2-12. 2×2ゴム編（リブ編）組織の編地サンプル写真

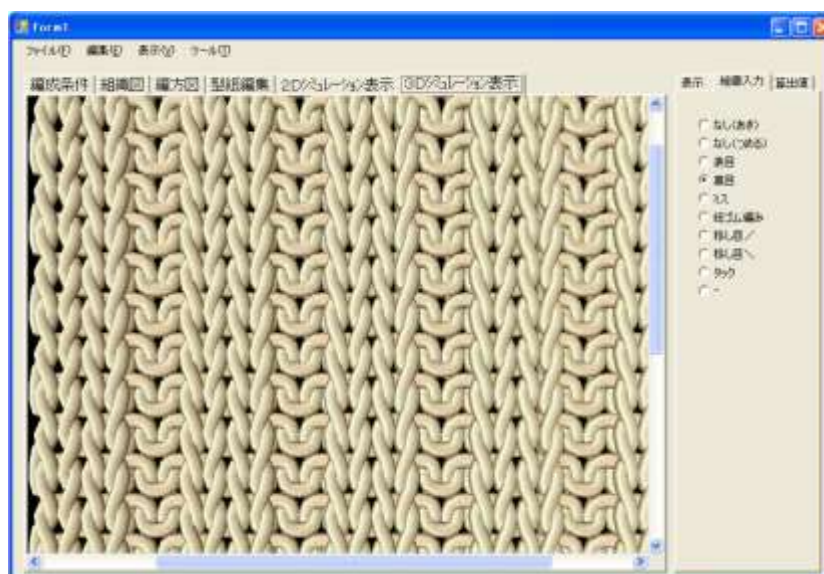


図2-13. 2×2ゴム編（リブ編）組織の編地シミュレーションモデル

2. 3. 5. パール（ガータ）編組織のモデル化

パール編組織では、図 2-14 に示すようにループは編目がコース方向（ Y 軸方向）で表裏反転し、ウェール方向にその反転した組織が並んでいる。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、図 2-15 に示すように厚さ方向は厚くなり、編地は長さ方向で収縮する。サンプルの実測値を基に組織基準点 (Ku) 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る。

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 ($P \doteq 2.38\text{mm}$) であり、基本ループのコース密度 2.3 目/cm ($P \doteq 4.35\text{mm}$) 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 $P \times 0.45$ 縮む方向に移動させる。

$$Ku_y = Ku_y - P \times 0.45 \quad (2-14)$$

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 方向へ移動させる。基本ループの Z 方向への移動 $-d \times 0.8$ からさらに $-d \times 0.8$ 分移動させる。

$$\left. \begin{array}{l} \kappa 1_z = -d \times 0.8 \times 2 \\ \text{or} \\ \kappa 4_z = -d \times 0.8 \times 2 \end{array} \right\} \quad (2-15)$$

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

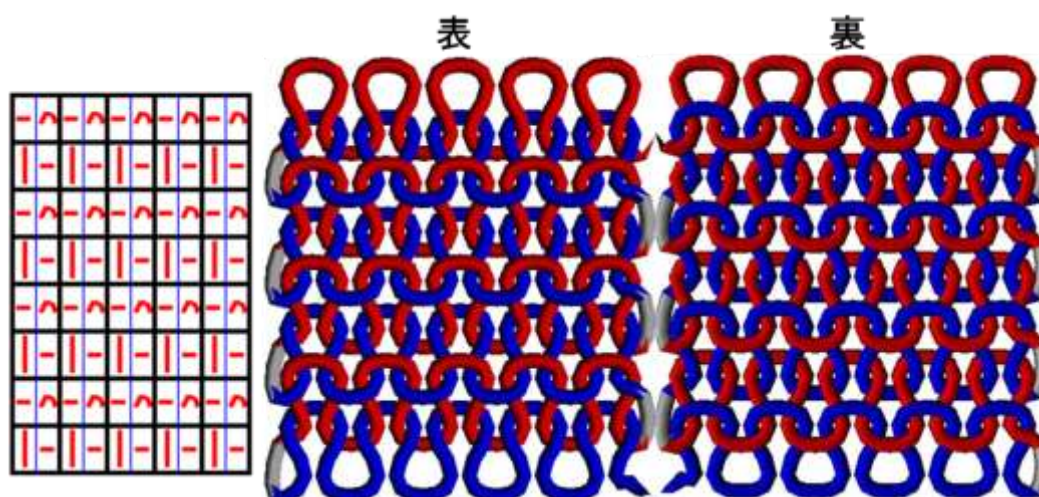


図 2 - 1 4 . パール編（ガータ編）組織（左から組織図、表面、裏面）

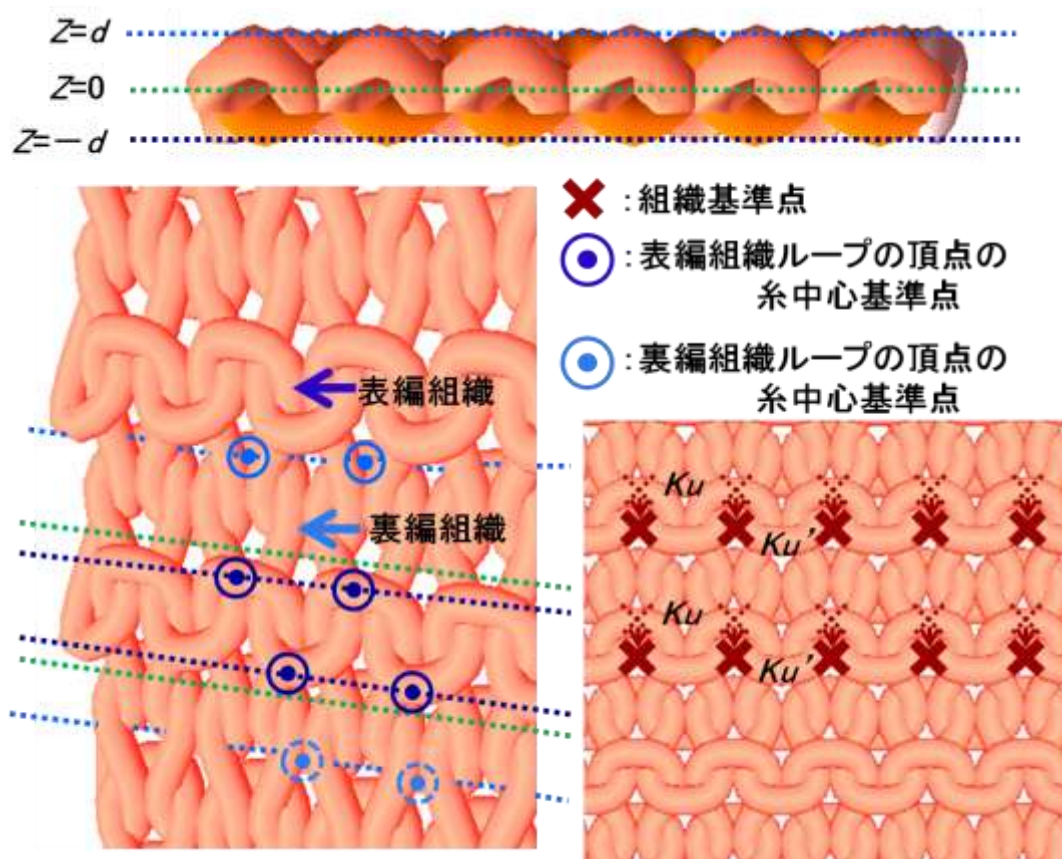


図 2 - 1 5 . パール編（ガータ編）組織のループ形状モデルと基準点の位置

図2-16にパール編組織の編地の写真, 図2-17にパール編組織の編地シミュレーションモデルを表示した画像を示す. パール編組織で, 編地の3次元シミュレーションモデルはサンプル編地の編目の形状に近似したループ形状モデルを生成できていることが確認できた.



図2-16. パール編（ガータ編）組織の編地サンプル写真

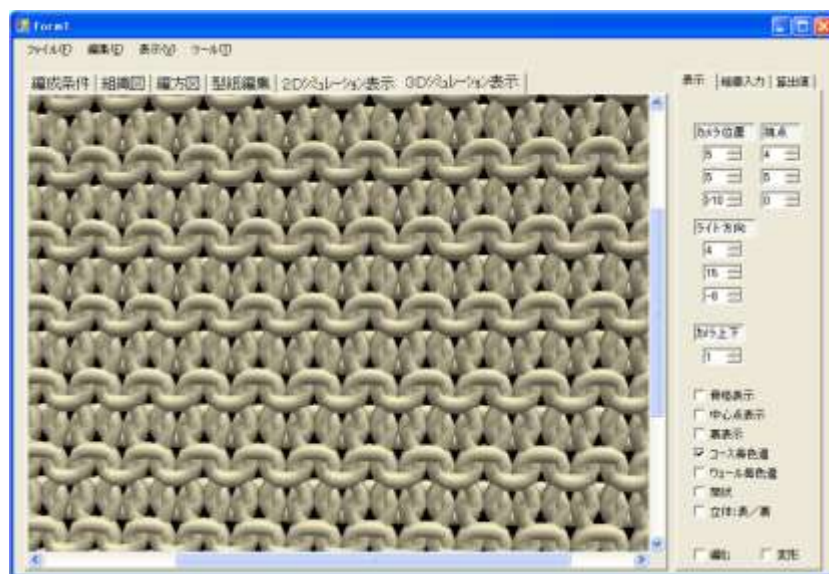


図2-17. パール編（ガータ編）組織の編地シミュレーションモデル

2. 3. 6. ウェルト（ミス）組織のモデル化

ウェルト（ミス）の組織では，図2－18に示すように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，図2－19に示すように，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．ウェルト組織の糸中心基準点 $\kappa 1$ と次のループの $\kappa 1$ の2点を結ぶ曲線は，基本のループと比較し離れているため，ウェルトのループはZ方向にふくらむ構造となる．

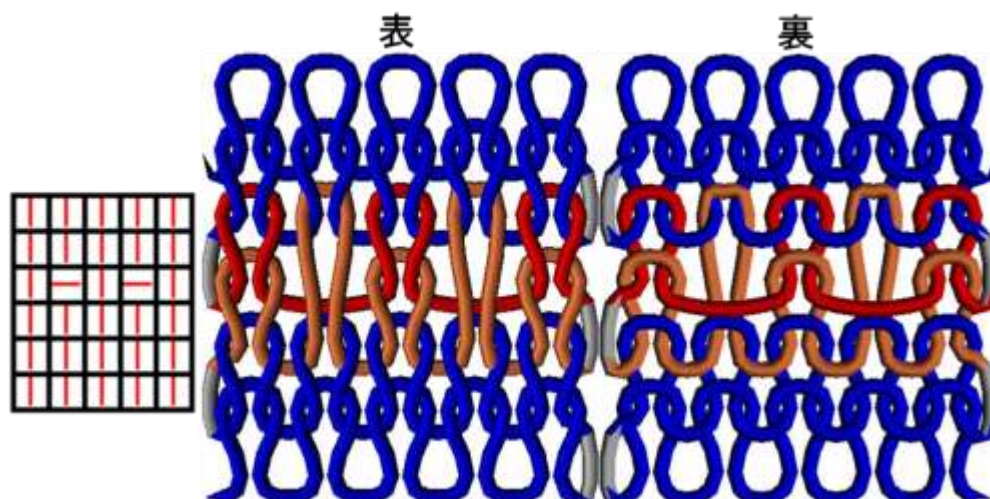


図2－18. ウェルト（ミス）組織（左から組織図、表面、裏面）

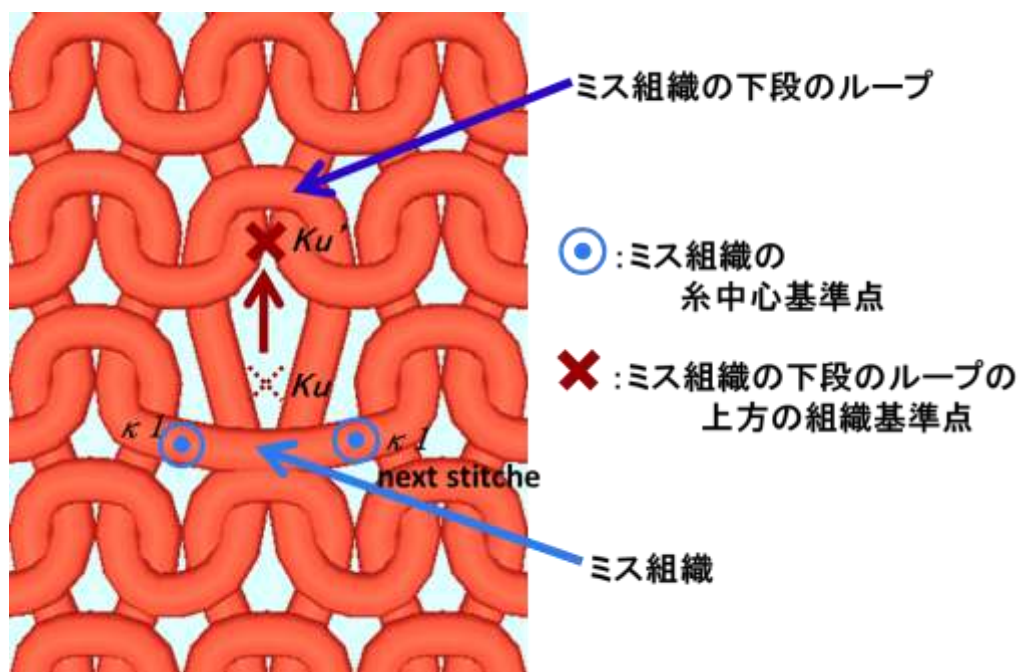


図2－19. ウェルト（ミス）組織のループ形状モデルと基準点の位置

2. 3. 7. タック組織のモデル化

タック組織の編目は、図 2-20 に示すように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。そこで図 2-21 に示すように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。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 (Kd_y) となる。

$$\kappa 1y = Kd_y \quad (2-16)$$

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、

$$\kappa 1x = Kdx - J/2 \quad (2-17)$$

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、

$$\kappa 1x' = Kdx + J/2 \quad (2-18)$$

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 3mm 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 $3-d \doteq 1.8$ となり、糸の中心座標を 1.8mm ($d \times 1.44$) 移動させる。

$$\left. \begin{array}{l} \kappa 2z = -d \times 1.44 \\ \kappa 4z = -d \times 1.44 \end{array} \right\} \quad (2-19)$$

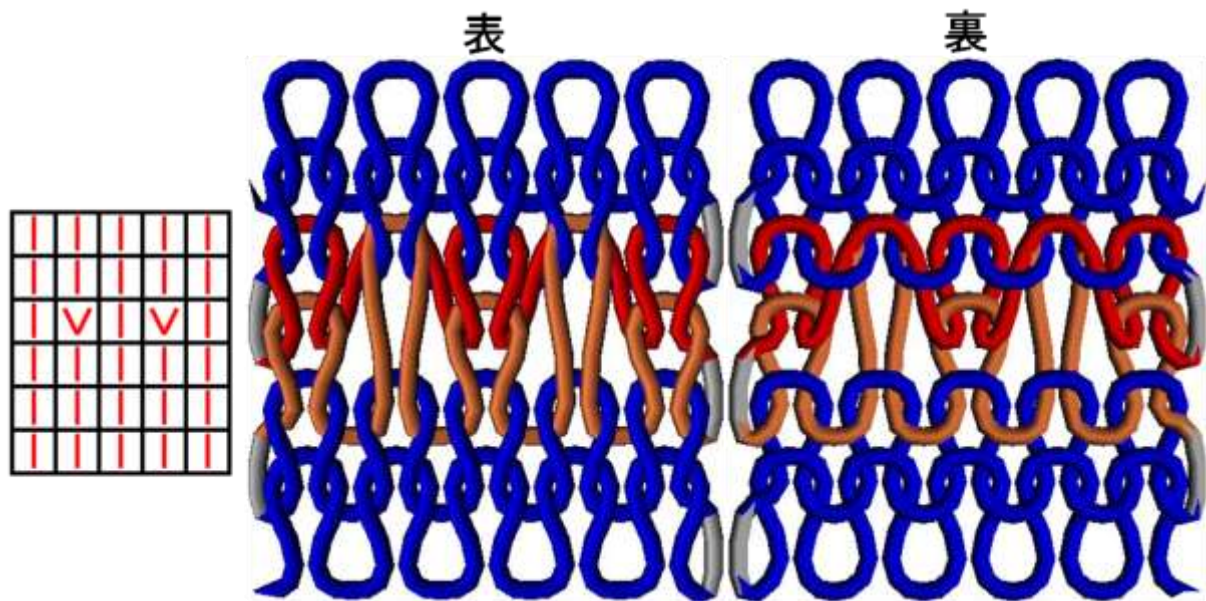


図 2－20．タック組織（左から組織図、表面、裏面）

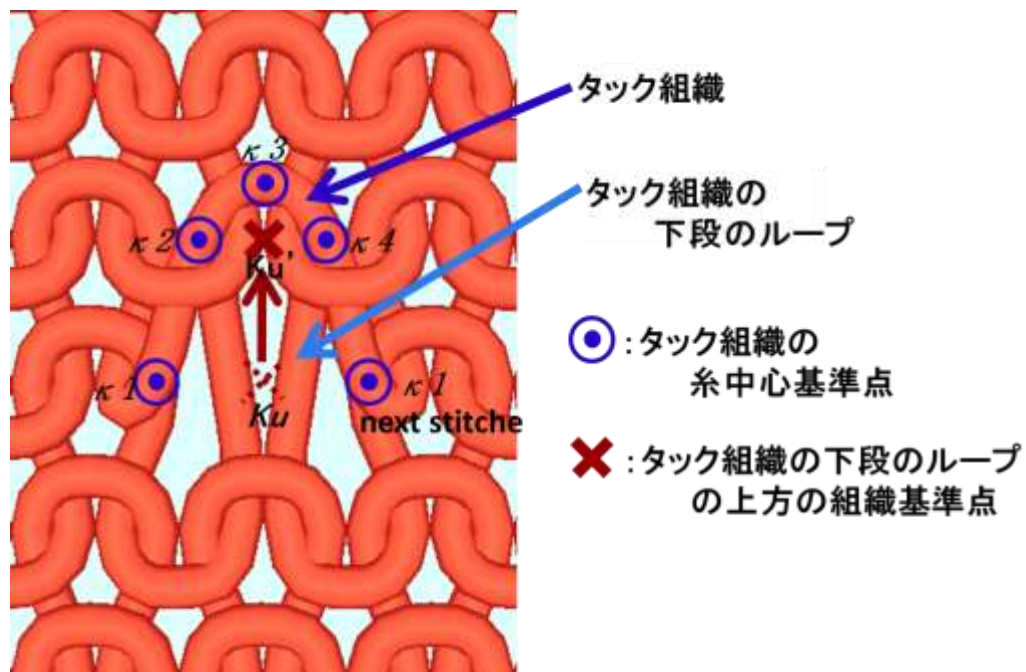


図 2－21．タック組織のループ形状モデルと基準点の位置

2. 3. 8. 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ル化

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、タックおよびミスの組織の上のループと交錯する構造となる．よって図 2－2 2 に示すようにタックおよびミスの組織の下のループの上の組織基準点(Ku)はさらに一つ上の組織基準点(Ku')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 5mm より左右で 0.8mm 内側に寄せるので、糸の中心座標は基本ループの $\kappa 3x = d \times 3/8$ (1.875mm) より $d \times 0.08$ (0.4mm) 内側に移動する．

$$\left. \begin{aligned} \kappa 3x &= Ku_x' + J \times 0.295 \\ \kappa 5x &= Ku_x' - J \times 0.295 \end{aligned} \right\} \quad (2-20)$$

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($-d \times 0.8$)．

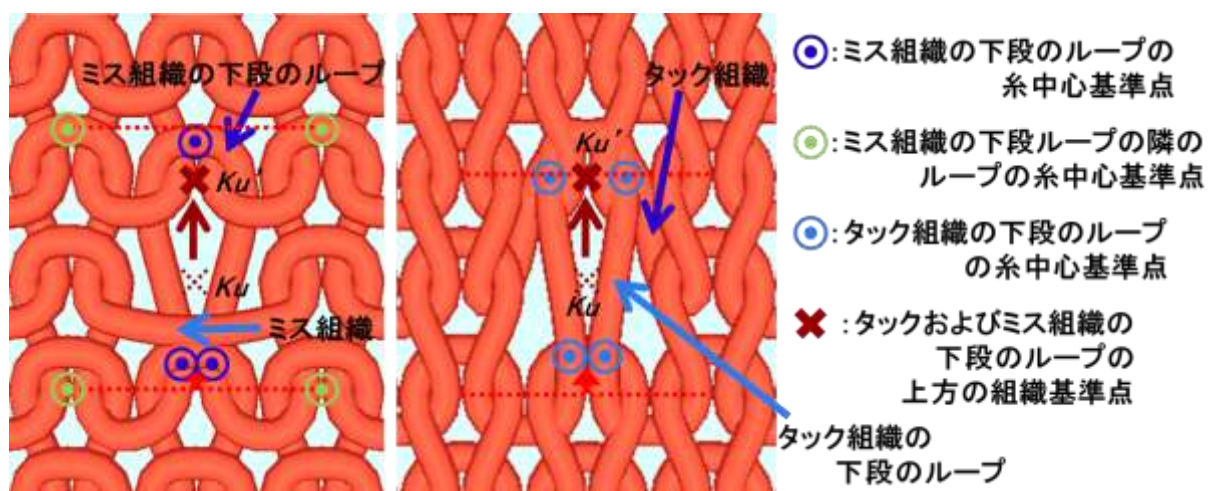


図 2－2 2. ミス・タック組織のループ形状モデルと基準点の位置

図 2－2 3 にウェルト組織の編地の写真, 図 2－2 4 にウェルト組織の編地シミュレーションモデルを表示した画像を示す．ウェルト組織で、編地の 3 次元シミュレーションモデルはサンプル編地の編目の形状に近似したループ形状モデルを生成できていることが確認できた．



図 2-23. ウェルト（ミス）組織の編地サンプル写真

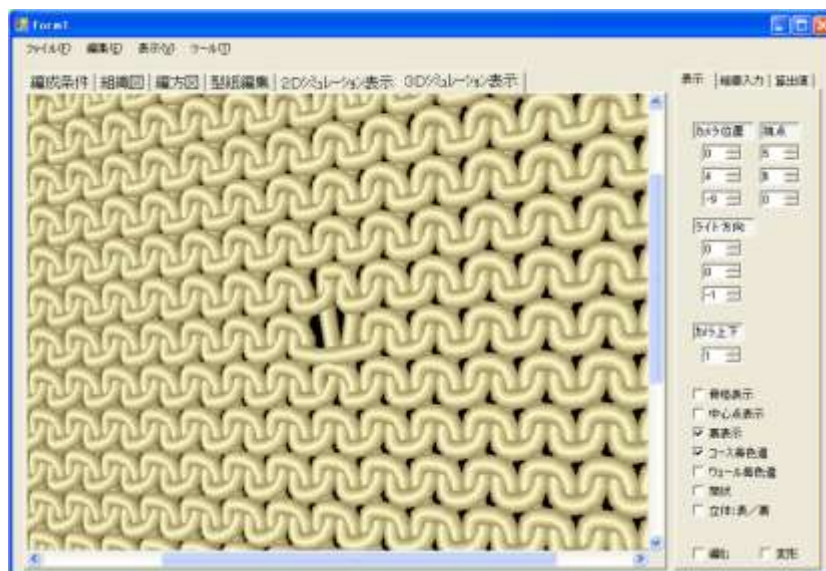


図 2-24. ウェルト（ミス）組織の編地シミュレーションモデル

図 2-25, 27に, タック組織の代表的な柄である表鹿の子 (図 2-25) と並鹿の子 (図 2-27) の編組織図と編地写真を示す. 表鹿の子組織の編地シミュレーションモデルを表示した画像を図 2-26 に, 並鹿の子組織の編地シミュレーションモデルを表示した画像を図 2-28 にそれぞれ示す. タック組織を使った表鹿の子編みと並鹿の子編みでは, タック組織の配列が異なり, 違った編構造になる. 表鹿の子組織と並鹿の子組織の編地の 3 次元シミュレーションモデルはサンプル編地写真と比較して, それぞれの特徴を表していることが確認できた.



図 2－2 5．表鹿の子組織の編地サンプル写真（左：組織図）

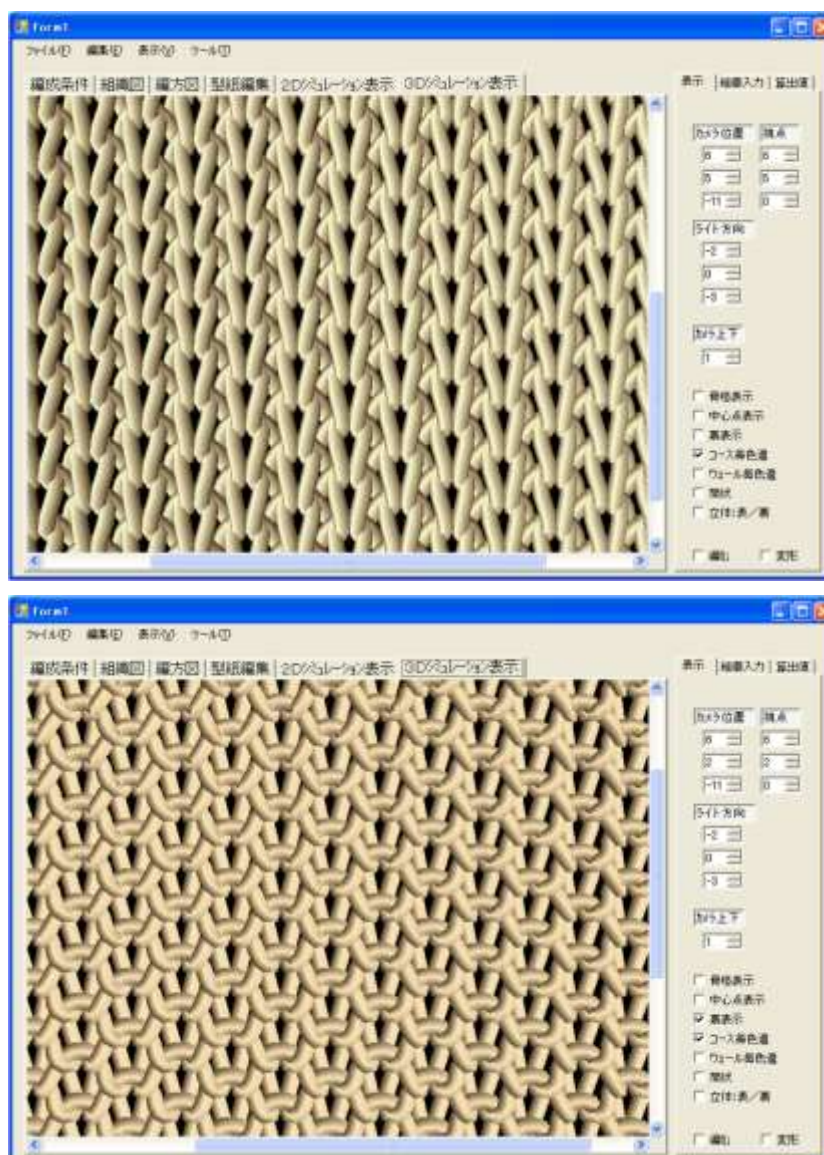


図 2－2 6．表鹿の子組織の編地シミュレーションモデル（上：表 下：裏）



図 2-27. 並鹿の子組織の編地サンプル写真（左：組織図）

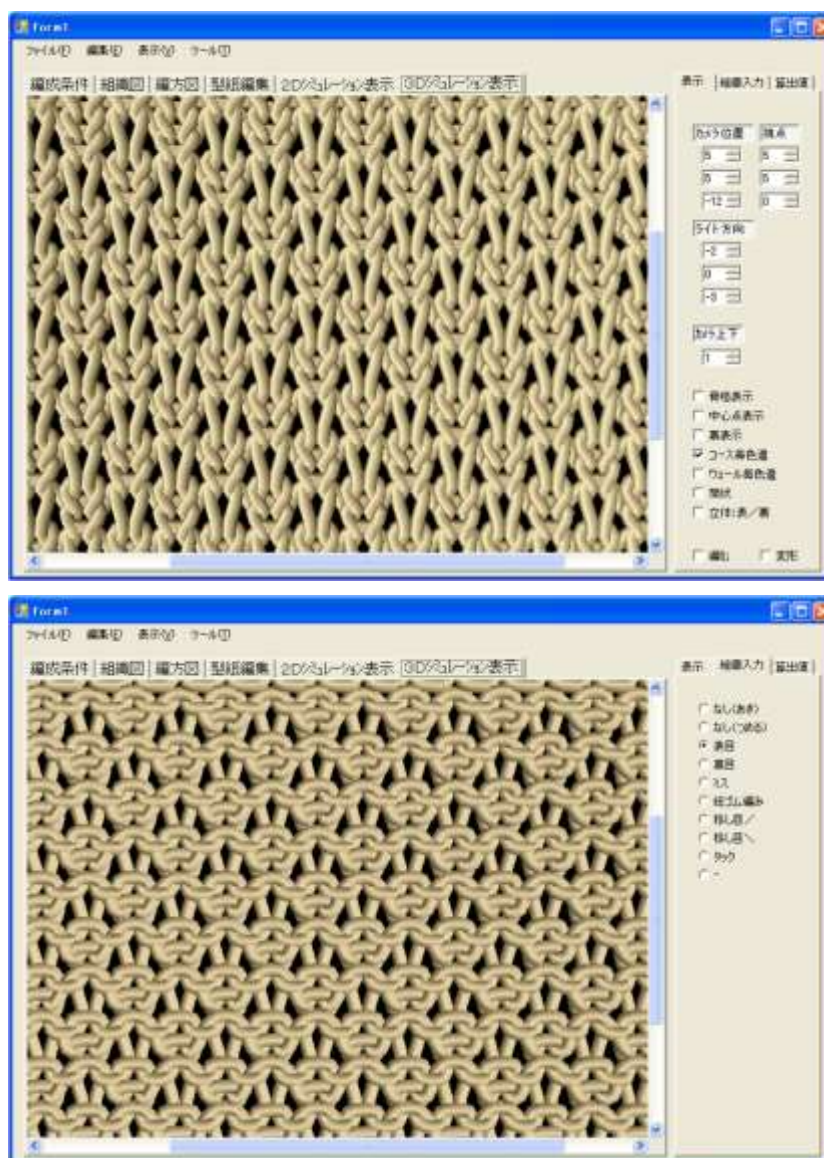


図 2-28. 並鹿の子組織の編地シミュレーションモデル（上：表 下：裏）

以上と異なるタック組織としては、図 2-29 に示すようにタック組織が上下に重なった 2 重タックという組織がある。図 2-30 に 2 重タック組織の代表的な柄である総鹿の子の編組織図と編地写真を示す。総鹿の子組織の編地シミュレーションモデルを表示した画像を図 2-31 に示す。総鹿の子組織の編地の 3 次元シミュレーションモデルはサンプル編地写真と比較して、その特徴を表しており、サンプル編地の編目の形状に近似したループ形状モデルを生成できていることが確認できた。

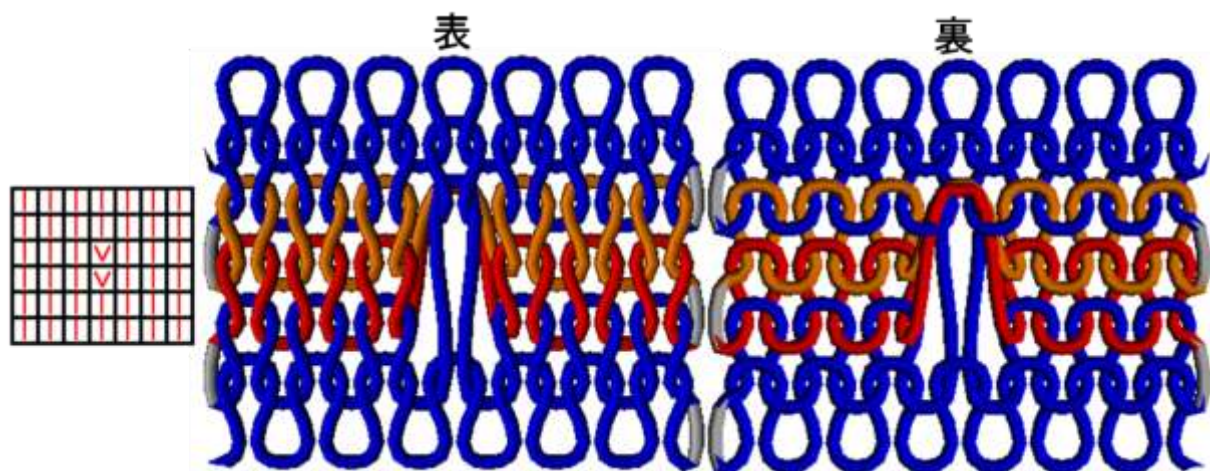


図 2-29. 2 重タック組織（左から組織図、表面、裏面）



図 2－3 0．総鹿の子組織の編地サンプル写真（左：組織図）

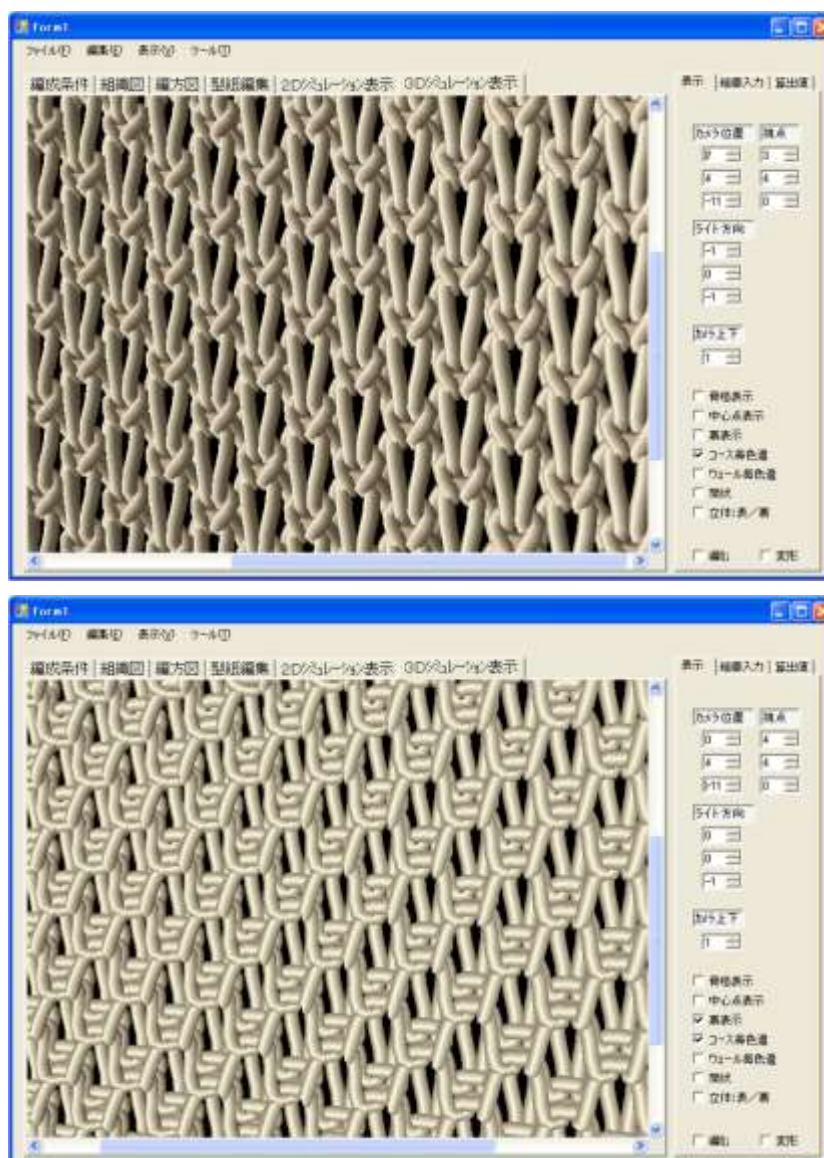


図 2－3 1．総鹿の子組織の編地シミュレーションモデル（上：表 下：裏）

2. 3. 9. 移し目組織のモデル化

移し目組織は、図2-32に示すように移し目のループを1つ隣のループの針に移動し重ねた状態で次のループを編むような組織である。移し目組織は、図2-33に示すように上の組織基準点(Ku)を移したい方向の1つ隣の組織基準点(Ku')に移動し、上3点の糸中心基準点を求めた。

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2.55mm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 1.3mm ($d \times 1.04$) 移動させる。

$$\left. \begin{aligned} \kappa 3_z &= -d \times 1.04 \\ \kappa 5_z &= -d \times 1.04 \end{aligned} \right\} \quad (2-21)$$

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($-d \times 0.8$)。

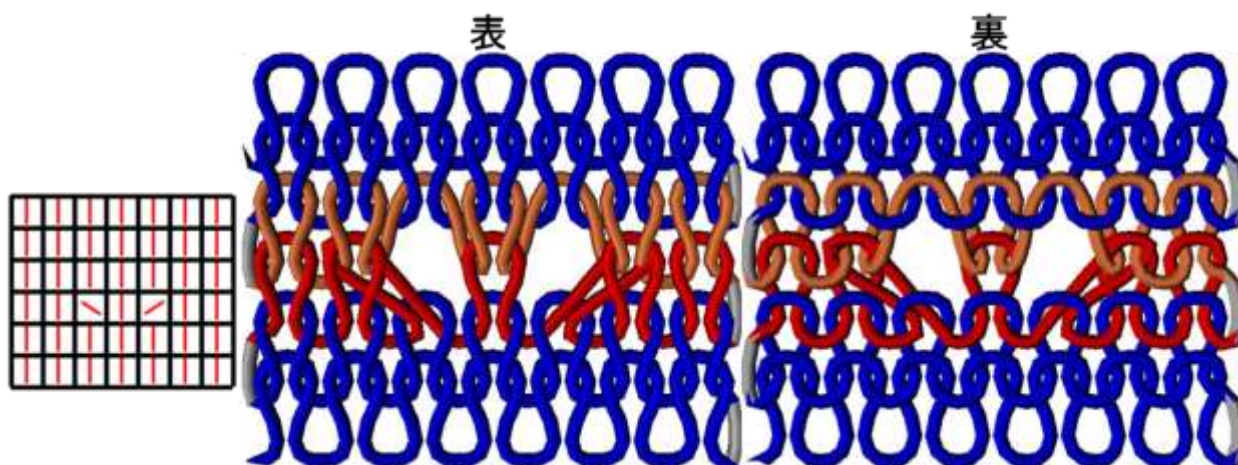


図2-32. 移し目組織 (左から組織図、表面、裏面)

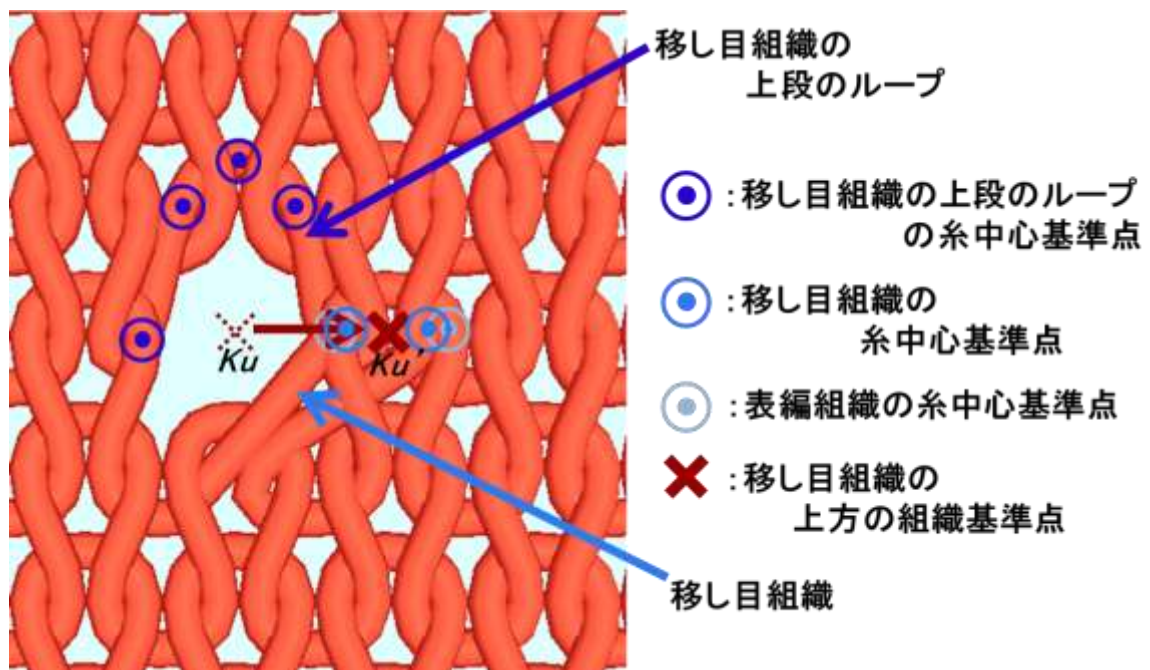


図 2－3 3．移し目組織のループ形状モデルと基準点の位置

図2-34に移し目組織を用いたメッシュ編地の写真, 図2-35メッシュ編の編地シミュレーションモデルを表示した画像を示す. 移し目組織で, 編地の3次元シミュレーションモデルはサンプル編地の編目の形状に近似したループ形状モデルを生成できていることが確認できた.



図2-34. 移し目組織の編地サンプル写真

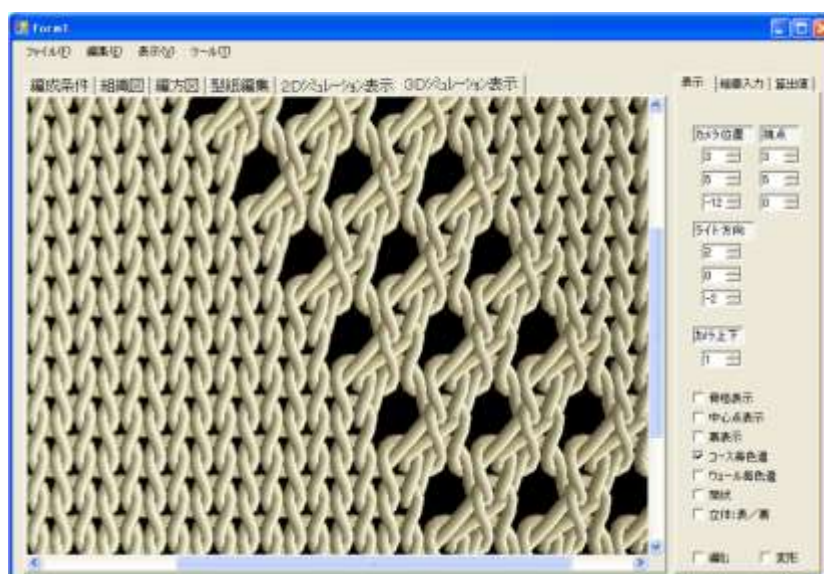


図2-35. 移し目組織の編地シミュレーションモデル

移し目組織には、重ねたループの次の（上の）コースを編むとき重ねたループ数の目数を減らして編む、減らし目組織がある（図2-36）。減らし目組織によって、横編機では身頃、袖等のパーツを型紙どおりの形状に成型編みすることができる。図2-37に減らし目で成型編みした編地写真を示す。減らし目組織をモデル化した画像を図2-38に示す。減らし目のループ形状をモデル化し、成型編みのモデルの生成も可能であることが確認できた。

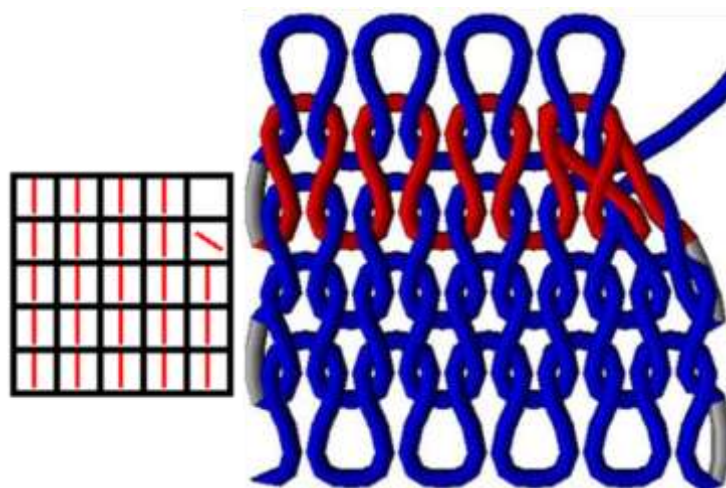


図2-36. 減らし目組織（左：組織図）



図2-37. 減らし目組織の編地サンプル写真

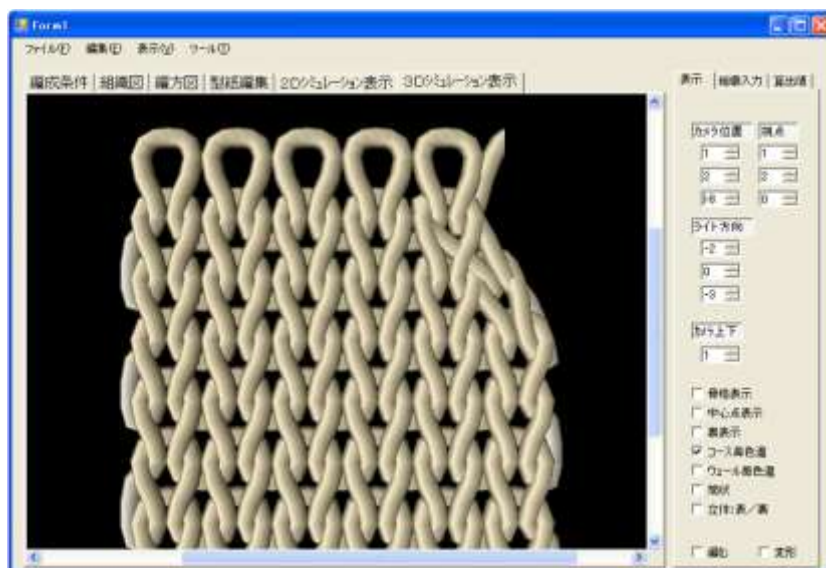


図 2-38. 減らし目組織の編地シミュレーションモデル

2. 4. シミュレーションモデル生成のためのソフトウェアの開発

以上の編組織のモデル化のアルゴリズムを実装し、既述の編組織で構成される編地のシミュレーションモデルを生成するためのソフトウェアを開発した。

図 2-39 (a) に示すユーザーインターフェースにウェール密度、コース密度、共通式番手のうちいずれかの編成パラメータの設定を入力し、図 2-39 (b) に示すユーザーインターフェースで編組織図を入力した後、編地のシミュレーションモデルを表示するソフトウェアを開発した。シミュレーションモデルは STL 形式のファイルで保存できるようにした。

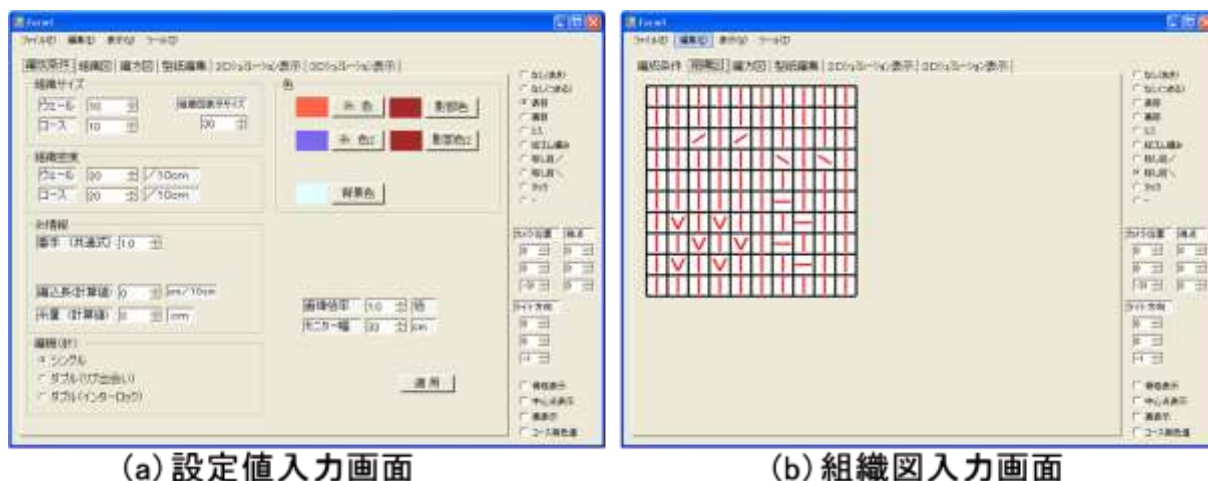


図 2-39. 設定値入力および組織図入力のユーザーインターフェース

2. 5. 結言

本章では、よこ編組織のループ形状を3次元モデル化するためのアルゴリズムを検討し、編地の3次元シミュレーションモデルを算出した。よこ編組織のループを3次元形状でモデル化するアルゴリズムに基づいて、編地のシミュレーションモデルを生成して表示するソフトウェアを開発することができた。

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した。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、その一つ一つの座標の移動を計算するには時間がかかる。そこで、各組織のループを描画する前に、基準点を設定することで、速やかに変化組織を含む編地のシミュレーションモデルを生成できるような、よこ編組織のループ形状をモデル化するアルゴリズムについて検討した。

基本ループの形状のモデル化には組織基準点と糸中心基準点を設定し、平編組織のループ形状のモデル化を行うことができた。

サンプル編地の構造解析を行い、サンプル編地の実測値とニット幾何学の理論をもとに、基本ループの組織基準点の移動と糸中心基準点の数を変えることで、ゴム編組織、パール編組織、ウェルト組織、タック組織、移し目組織のループ形状のモデル化を行うことも可能であった。各よこ編組織のループ形状を3次元モデルとすることで、編目構造の確認がしやすいソフトウェアを開発した。

最後にサンプル編地における編目寸法実測値と本章で提案した平編の基本ループの理論値およびよこ編組織のモデルから算出した編目寸法を表2-1に示す。

表2-1. サンプル編地およびシミュレーションモデルにおける編目寸法

	実測値					理論値・算出値		
	ウェール密度 目/cm	コース密度 目/cm	幅 mm	高さ mm	厚さ mm	幅 mm	高さ mm	厚さ mm
平編	2.0	2.3	5.00	4.35	2.30	5.00	4.33	2.25
1×1ゴム編	3.6	2.3	2.78	4.35	3.30	2.75	4.33	3.25
パール編	2.0	4.2	5.00	2.38	3.20	5.00	2.38	3.25
タック組織	-	-	-	-	3.00	-	-	3.05
タック・ミス組織の下 のループ	-	-	4.20	-	-	4.26	-	-

糸直径 d 1.25mm

第3章 立体成型編製品設計のための CAD システムの開発と 着圧の簡易 CAE

3. 1. 緒言

本章では、立体成型編のための編組織図を設計する CAD システムの開発について述べる。第2章のよこ編組織のループ形状をモデル化するアルゴリズムを用い、CAD データの形状に立体成型編を行うための編組織図の設計について検討した。立体成型編については、対象となるデータに着圧がかかる状態での設計についても検討した。

第2章の基本ループのモデル化のアルゴリズムを応用して、円筒状に基準点を配置することで、筒編地のシミュレーションモデル生成についても検討した。筒編形状においても、変化組織を含む編地のモデル化を行った。

無縫製で立体成型編を行うことができる完成度の高い編機が市販されているが、立体形状に合わせた編組織データを作成するためには、CAD データと編組織設計の両方の技術を理解する必要がある。さらにアパレル製品以外の編組織データは試行錯誤で作成されている。そこで、CAD データから編組織図を設計するアルゴリズムについて検討した。

無縫製横編機で立体成型編を行う場合は、筒形状を減らし目で変形させることが基本の編み方となっている。そこで、CAD データの形状に立体成型編する場合でも、筒編地と同様に CAD データの断面に対して円筒状に基準点を配置することで立体成型編製品のシミュレーションモデルを生成した。さらに立体成型編形状のシミュレーションモデルを算出する過程で、ウェール数、コース数、減らし目の数も算出されるため、それらのデータから編組織図の設計を行うことを検討した。立体成型編の応用例として、炭素繊維強化熱可塑性樹脂 (CFRTP) のニット基材を想定した半球形状、リンパ浮腫軽減のためのサポーター形状、心拡大リモデリングのための心臓サポートネットについてそれぞれ検討した。

サポーターと心臓サポートネットは、どちらも着用時に一定の着圧がかかる状態となる必要がある。そこで、サポーターの編地、心臓サポートネットの編地についてそれぞれ引張特性を計測し、着装時にかかる着圧の予測を行う簡易 CAE について検討した。サポーターに関しては想定する着圧となるよう、脚のサイズから編組織図を設計することを検討した。心臓サポートネットに関しては、心臓の CAD データと心臓サポートネットを編むための型紙があるため、それらのデータを基に作製した心臓サポートネットを心臓に装着した場合の着圧分布の予測値について検討した。また、心臓が拡張—収縮した状態でそれぞれのコースの着圧変化の予測を可視化することについても検討した。

3. 2. 実験装置および開発環境

ソフトウェア開発環境としては、OS として Microsoft Windows XP、プログラム言語は Microsoft Visual Basic2005 を用いた。3次元画像表示の API には DirectX9 を用いた。

設計した編組織図データを実際に編み機で編むためには、編み機の制御データに変換する必要がある。組織図データから編み機の制御データを作成するためには、島精機製作所(株)製の SDS-ONE APEX のニット CAD システムを使用した。その写真を図 3-1 (a)に示す。

設計した編地の形状を確認するため、島精機製作所(株)製の無縫製横編機 (MACH2S) を用いて立体成型編を行った。その写真を図 3-1 (b)に示す。

着圧の予測を行うため、カトーテック(株)製の風合い試験機 (KES-FB1-AUTO-A) を用いて編地の 1 軸の引張特性を測定した。その写真を図 3-1 (c)に示す。カトーテック(株)製小型 2 軸引張試験機 (KSM-BX5450ST) を用いて心臓サポートネット生地 of 引張特性を測定した。その写真を図 3-1 (d)に示す。



(a) ニットCADシステム
SDS-ONEAPEX



(b) 無縫製編み機
MACH2S



(c) 風合い試験機(引張・せん断)
KES-FB1-AUTO-A



(d) 小型2軸引張試験機
KSM-BX5450ST

図 3-1. 使用した試験機器の写真

3. 3. 筒形状の編地をモデル化するためのアルゴリズム

2. 3. 節で述べた、よこ編組織のモデル化を筒編地へ応用するため、筒形状での基本ループの組織基準点と糸中心基準点アルゴリズムについて検討した。

3. 3. 1. 筒形状での基準点の設定

【筒形状の組織基準点の設定】

2次元の編地では組織基準点は、ループの上と下2点に定めた。2次元の編地では糸中心基準点を求めるとき、組織基準点から X 軸方向（コース方向）の x 座標と Y 軸方向（ウェール方向）の y 座標の移動で算出した。筒形状の編地ではコース方向の移動のために、 XZ 平面で円周方向の移動で計算する必要があると考える。筒形状の場合でも Y 軸方向（ウェール方向）の y 座標は2次元の編地と同じ式で算出できる。そこで1ループのウェール方向の幅を8分割し、図3-2に示すように上8点、下8点の合計16点の組織基準点を定めた。16点の組織基準点から図3-3に示すように y 座標移動のみで糸中心基準点の算出が可能となる。

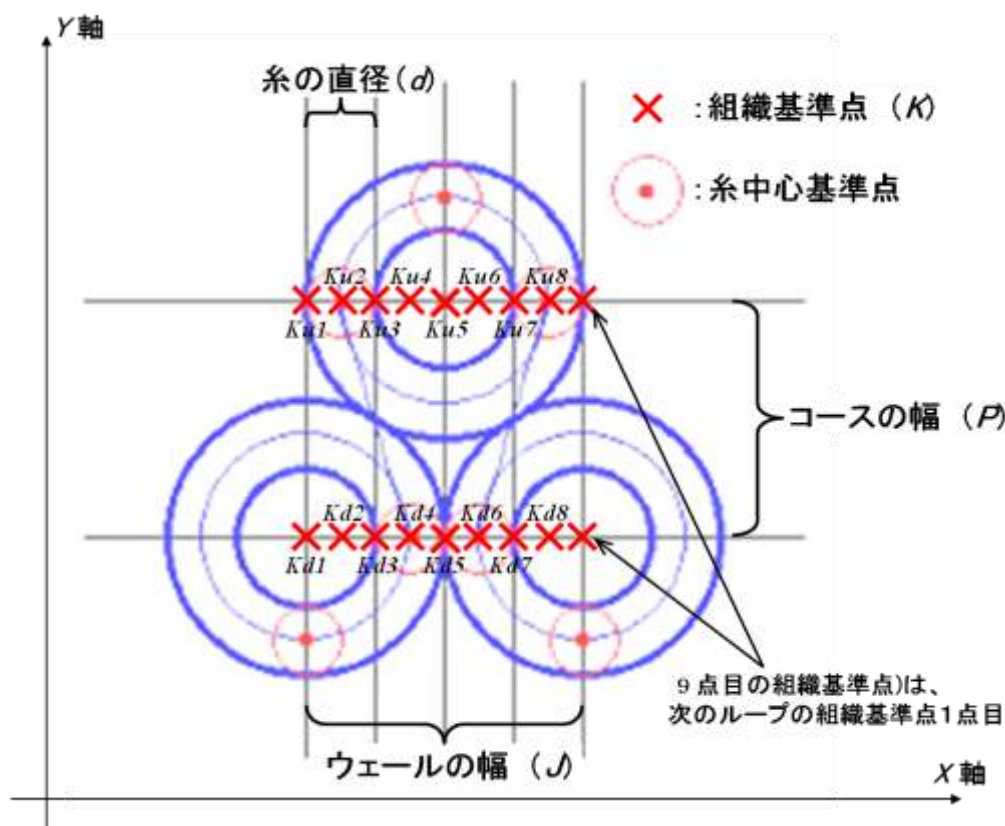


図3-2. 筒形状の組織基準点

筒形状の XZ 断面の円周上にある，組織基準点 Kdn の (x, z) 座標を算出する式を次に示す．円の中心座標は $(x, z) = (0, 0)$ とする．なお， Kun は Kdn と同じ (x, z) 座標となる．

$$\left. \begin{aligned} Kdn \text{ の } x \text{ 座標} &= \cos \theta \times D/2 \\ Kdn \text{ の } z \text{ 座標} &= \sin \theta \times D/2 \end{aligned} \right\} \quad (3-1)$$

ここで，

$$\theta = 2 \times \pi \times (360^\circ \times (N_w \times 8 + n) / (M_w \times 8) / 360^\circ)$$

$$D = R / \pi$$

$$R = J \times M_w$$

n : 1~8 (1 ループ内の組織基準点 $Kd1 \sim Kd8$)

R : 筒形状の円周 (mm)

J : ループの幅 (mm)

D : 筒形状の直径 (mm)

N_w : N 番目のウェール

M_w : 総ウェール数

筒形状の高さ方向の組織基準点 Kdn の Y 座標は，1 コース目のループの Kdn を 0 とすると，

$$Kdn \text{ の } y \text{ 座標} = P \times (N_c - 1) \quad (3-2)$$

P : ループの高さ (mm)

N_c : N 番目のコース

となる． Kun の Y 座標は 1 コース上のループの Kdn と同じになる．

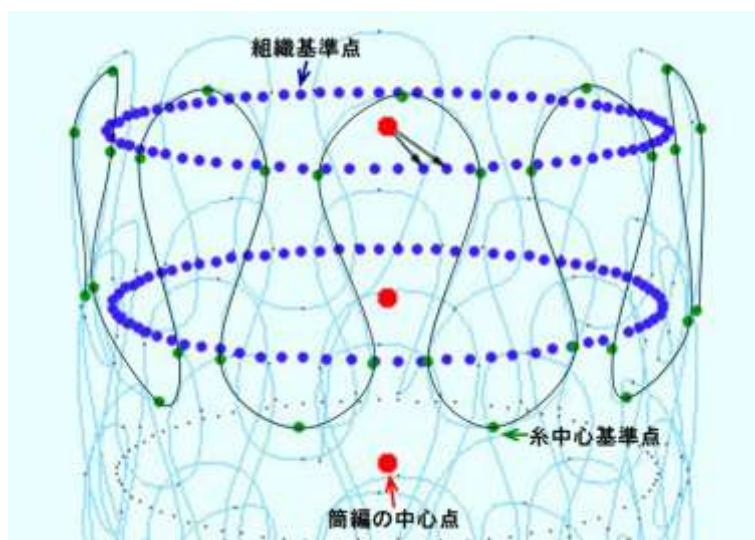


図3-3. 筒編と組織基準点・糸中心基準点の位置関係模式図

【筒形状の糸中心基準点の設定】

筒形状の糸中心基準点 $\kappa 1$, $\kappa 2$, $\kappa 3$, $\kappa 4$, $\kappa 5$, $\kappa 6$ の (x, y, z) 座標を算出は次の式で行った. 図3-4に, $\kappa 1$, $\kappa 4$ の x, z 座標を生地の厚さ方向へ移動する模式図を示す.

$$\begin{aligned}
 \kappa 1_x &= Kd1_x + (0 - Kd1) / D/2 \times d \times 0.8 \\
 \kappa 1_z &= Kd1_z + (0 - Kd1) / D/2 \times d \times 0.8 \\
 \kappa 1_y &= Kd1_y + (Kd1 - Ku1) \\
 &\quad \times (P/2 - d/2) / P \\
 \\
 \kappa 4_x &= Ku5_x + (0 - Ku5) / D/2 \times d \times 0.8 \\
 \kappa 4_z &= Ku5_z + (0 - Ku5) / D/2 \times d \times 0.8 \\
 \kappa 4_y &= Ku5_y + (Ku5 - Kd5) \\
 &\quad \times (P/2 - d/2) / P \\
 \\
 \kappa 2 &= Kd4 \\
 \kappa 3 &= Ku2 \\
 \kappa 5 &= Ku8 \\
 \kappa 6 &= Kd6_
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \kappa 1_x \\ \kappa 1_z \\ \kappa 1_y \\ \kappa 4_x \\ \kappa 4_z \\ \kappa 4_y \end{aligned}} \right\} (3-3)$$

d : 糸直径 (mm)

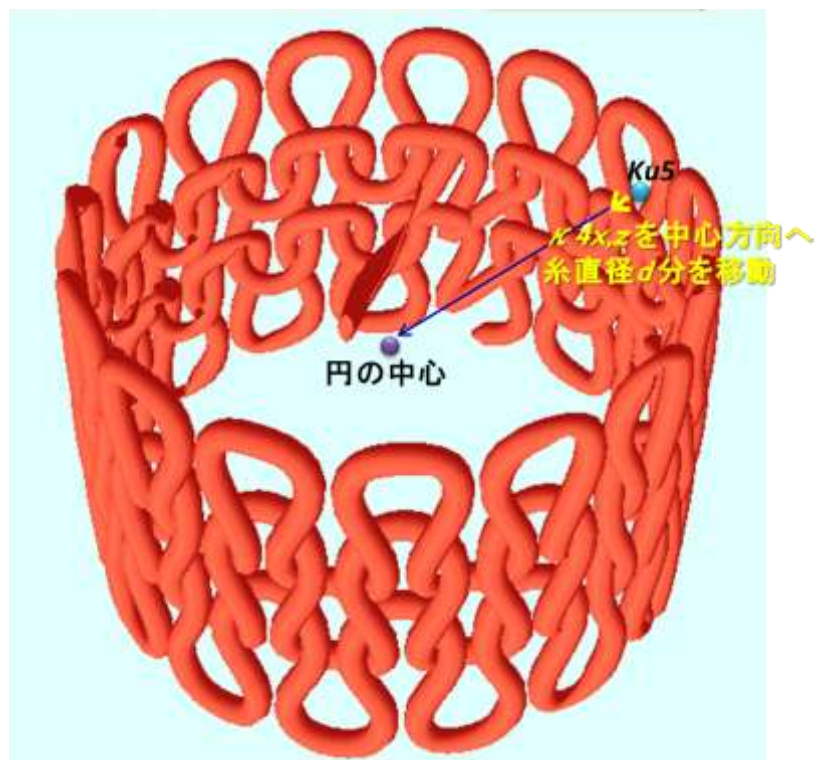


図3-4. 筒形状とループ頂点 x, z 座標の生地厚さ方向への移動模式図

3. 3. 2. 平編（天竺）組織の筒編地のモデル化

ウェール数15目，コース数10目の平編組織の筒編地のモデルを図3-5に示す．平編組織の筒編地は，下方コースから螺旋状に上方コースへ編まれていく．そこで，編組織図のウェール数から円周上に組織基準点を算出し，筒編地の下方から上方へ，時計回りの螺旋状の順番で糸中心基準点を算出しつなぐことによりモデル化を行った．実際の編地と同様ループが螺旋状につながった筒編地シミュレーションモデルを生成できた．

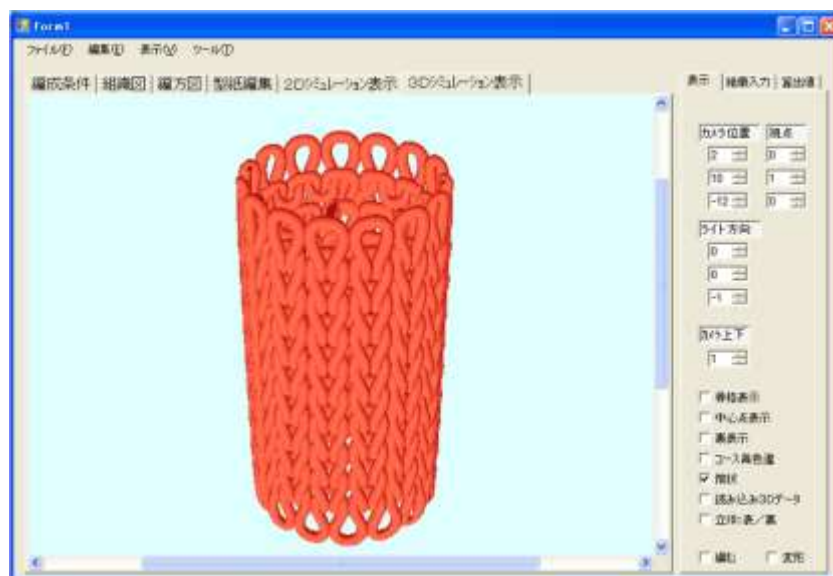


図3-5. 平編（天竺）組織の筒編地シミュレーションモデル

3. 3. 3. ウェルト（ミス）組織を含む筒編地のモデル化

ウェルト（ミス）の組織では途中で糸が交錯しないため，糸の方向が変わる基準点が必要ない．ウェルト（ミス）組織を筒形状の編地でモデル化するときも2次元編地の場合と同様に，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．

3. 3. 4. タック組織を含む筒編地のモデル化

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．そこでタック組織を筒形状の編地でモデル化するときも，2次元編地の場合と同様に，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．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（ Kdy ）となる．

$$\kappa 1_y = Kd1_y \quad (3-4)$$

またタック組織の次の（隣の）ループの下頂点（ $\kappa 1_y'$ ）も引き上げられるため、

$$\kappa 1_y' = Kd1_y' \quad (3-5)$$

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（ $\kappa 2$ ， $\kappa 4$ ）を筒編の中心方向へ移動し厚みを出す必要がある．2次元の編地と同様に糸の中心座標は 1.8mm （ $d \times 1.44$ ）移動させる．

$$\left. \begin{aligned} \kappa 2_x &= Kd2_x + (0 - Kd2) / D/2 \times d \times 1.44 \\ \kappa 2_z &= Kd2_z + (0 - Kd2) / D/2 \times d \times 1.44 \\ \kappa 4_x &= Kd7_x + (0 - Kd7) / D/2 \times d \times 1.44 \\ \kappa 4_z &= Kd7_z + (0 - Kd7) / D/2 \times d \times 1.44 \end{aligned} \right\} (3-6)$$

3. 3. 5. 筒編地におけるタック組織およびウェルト（ミス）組織の下ループのモデル化

タックおよびウェルト（ミス）の組織の下ループはタックおよびミスのループと交錯しないため、タックおよびミスの組織の上ループと交錯する構造となる．そこで筒形状の編地でモデル化するときも、2次元編地の場合と同様に、タックおよびミスの組織の下ループの上組織基準点（ Ku ）はさらに一つ上の組織基準点（ Ku' ）へ移動させて求める．タック組織の下ループの Z 座標は基本ループのままとした（ $-d \times 0.8$ ）．

筒形状の編地の一部にウェルト（ミス）組織が入った筒編地シミュレーションモデルを図3－6に示す。筒形状の場合でも2次元の編地と同様のウェルト（ミス）組織のループ形状をモデル化することができた。

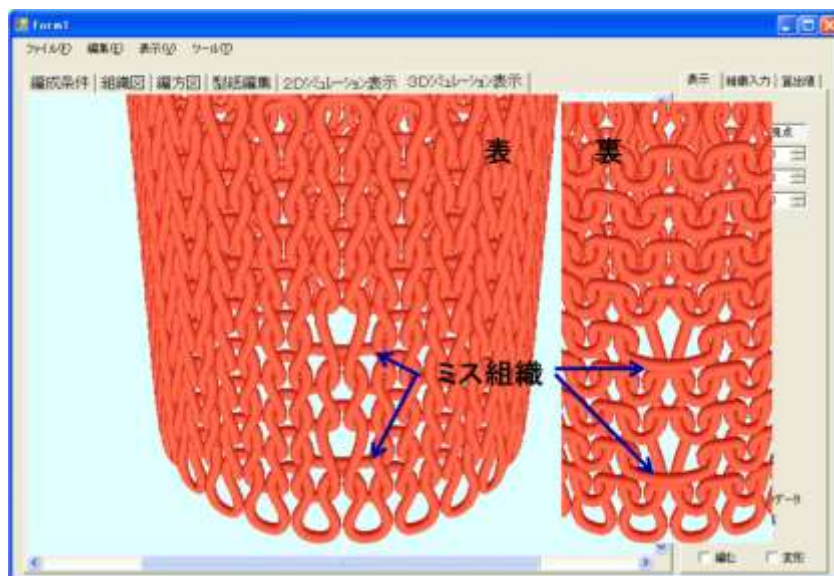


図3－6. ウェルト（ミス）組織の入った筒編地シミュレーションモデル

筒形状の編地の一部にタック組織が入った筒編地シミュレーションモデルを図3－7に示す。筒形状の場合でも2次元の編地と同様のタック組織のループ形状をモデル化することができた。

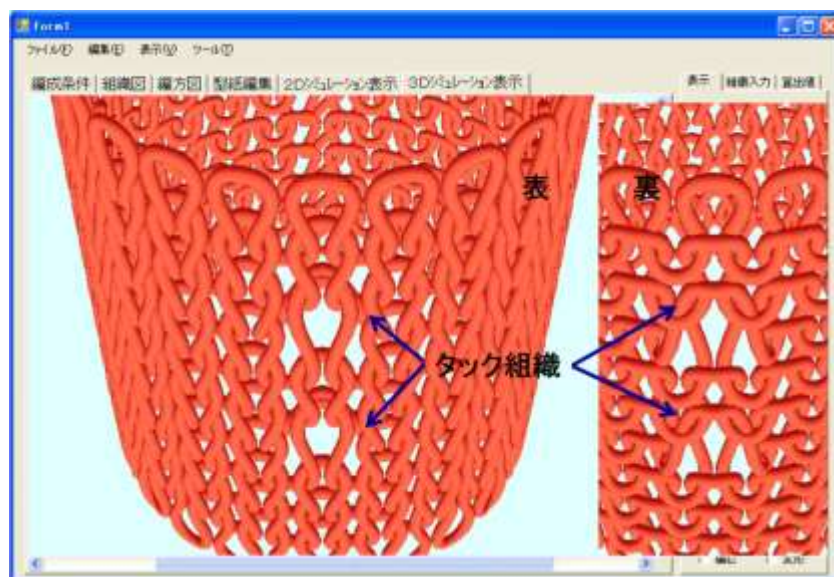


図3－7. タック組織の入った筒編地シミュレーションモデル

3. 3. 6. 移し目組織を含む筒編地のモデル化

移し目組織は、移し目のループを1つ隣のループの針に移動し重ねた状態で次のループを編むような組織である。そこで筒形状の編地でモデル化するときも、2次元編地の場合と同様に、移し目組織は上の組織基準点(Ku)を移したい方向の1つ隣の組織基準点(Ku')に移動し、上3点の糸中心基準点を求めた。

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($\kappa 3$, $\kappa 5$)を筒編の中心方向へ移動し厚みを出した。2次元の編地と同様に糸の中心座標は 1.3mm ($d \times 1.04$) 移動する。

$$\left. \begin{aligned} \kappa 3_x &= Kd2_x + (0 - Kd2) / D/2 \times d \times 1.04 \\ \kappa 3_z &= Kd2_z + (0 - Kd2) / D/2 \times d \times 1.04 \\ \kappa 5_x &= Kd7_x + (0 - Kd7) / D/2 \times d \times 1.04 \\ \kappa 5_z &= Kd7_z + (0 - Kd7) / D/2 \times d \times 1.04 \end{aligned} \right\} (3-7)$$

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 Y 座標はタック組織と同じ式で求められる。ただし糸の交錯点で1本ずつの交錯となるため、 X 座標と Z 座標は基本ループのままとした($d \times 0.8$)。

筒形状の編地の一部に移し目組織が入った筒編地シミュレーションモデルを図3-8に示す。筒形状の場合でも2次元の編地と同様の移し目組織のループ形状をモデル化することができた。

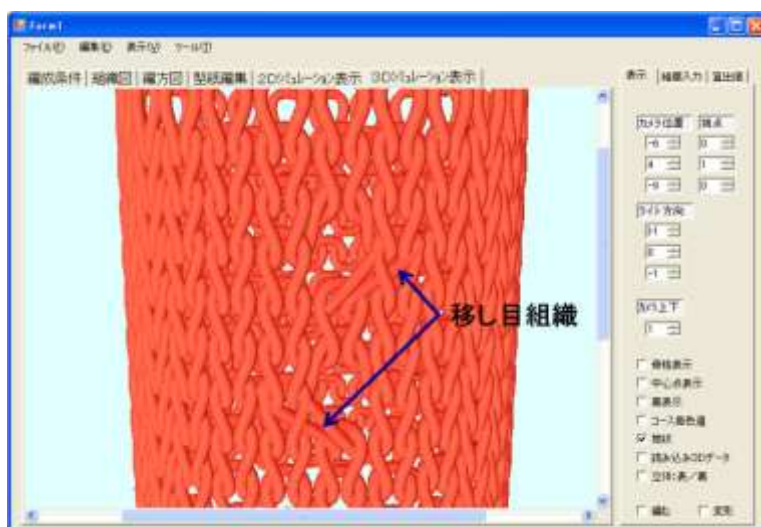


図3-8. 移し目組織の入った筒編地シミュレーションモデル

メッシュ組織の筒編地シミュレーションモデルを図3-9に示す。

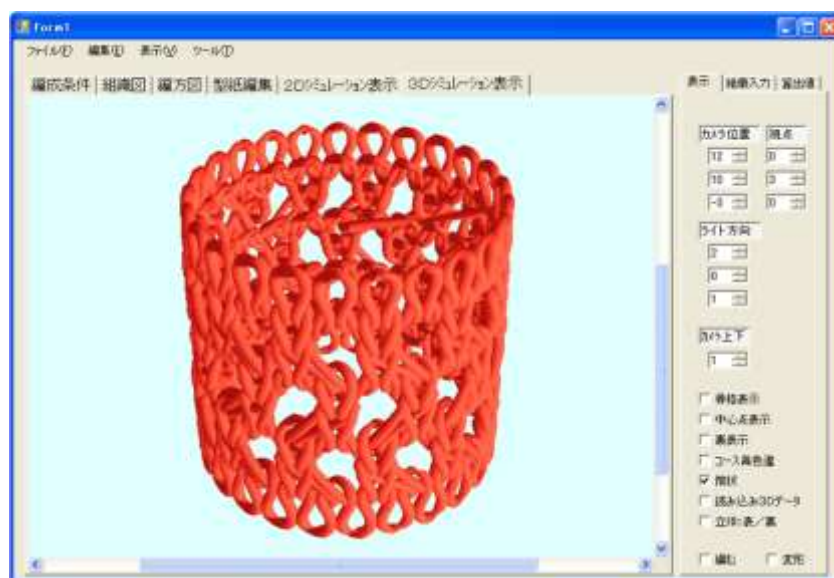


図3-9. メッシュ組織の筒編地シミュレーションモデル

減らし目組織によって、筒形状の編地の筒の直径を変えることで、立体成型編をすることができる。図3-10に減らし目組織で筒の直径を縮めた編地のモデルを示す。立体成型編シミュレーションモデルの生成も可能であることが確認できた。

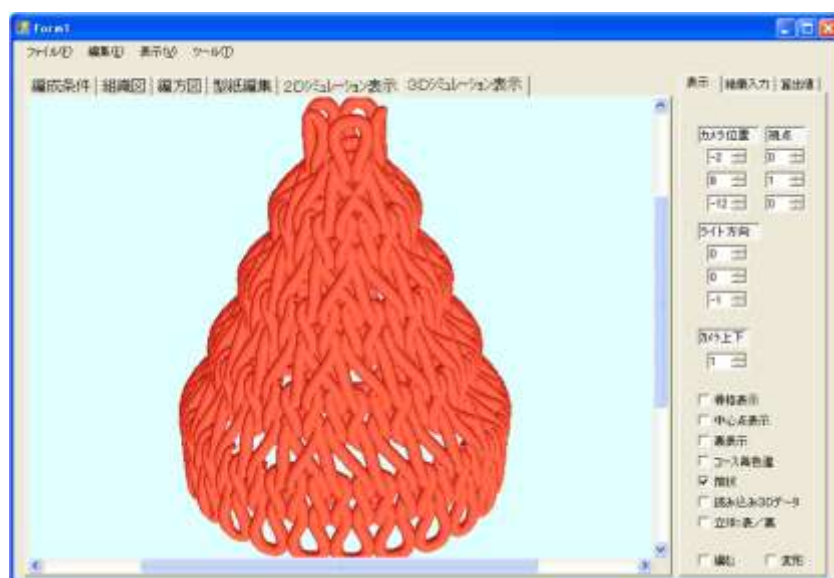


図3-10. 減らし目組織によって円錐形状を生成した筒編地シミュレーションモデル

3. 3. 7. 筒編地のシミュレーションモデル生成のためのソフトウェア

筒編地に対するよこ編組織のループ形状をモデル化するアルゴリズムを実装し、各よこ編組織で構成される筒編地のシミュレーションモデルを生成するためのソフトウェアを開発した。

図2-39に示したものと同様のユーザーインターフェースにウェール密度、コース密度、共通式番手のうちいずれかの編成パラメータの設定値と編組織図を入力した後、筒編地のシミュレーションモデルを表示するソフトウェアを開発した。シミュレーションモデルはSTL形式のファイルで保存できるようにした。

3. 4. 立体成型編製品設計のための CAD システムの開発へのアルゴリズム応用

編地のモデル化のアルゴリズムを応用することで、

1. CAD データから 3 次元形状に立体成型編するための編組織図の設計
2. 各部位のサイズから立体成型編するための組織図の設計
3. CAD データと組織図データの立体編成編シミュレーションモデル生成による比較について検討した。

3. 4. 1. 半球形状に対応した CAD システムの開発

炭素繊維強化熱可塑性樹脂 (CFRTP) で曲面を有する立体形状を作製する場合、従来の方法では立体形状を有する型に適合するようにシート状の炭素繊維基材をあらかじめ切断しておき、切断した基材を型に積層ないし整列配置した後、樹脂を含浸させて作製している。このため、成形時には繊維基材の裁断くずが大量に発生する上、積層により立体形状を構築するため曲面など目的に合った形状が得られにくいなどの問題点がある。また、手作業で繊維基材積層・成形作業を行うハンドレイアップ法では比較的高品質な立体形状を得られるが、手作業であるがゆえに成形作業に膨大な時間を要してしまうなどという問題点がある[36]。そこで無縫製編機によるニット製品製造技術を利用し、部材の立体形状にフィットした CFRTP のためのニット基材を立体成型編することで、成形性に優れた CFRTP を生産できないか検討した。

ここでは、従来品のヘルメットと比較して強度を維持しつつ重量を約半分にするために CFRTP で作製したいという要望があり、ヘルメットを想定した半球形状について検討することとした。

図 3-11 に示す半球形状の CAD データから、立体成型編するための編組織図の設計を行った。

まず、半球形状の CAD データの頂点から底辺までの円弧を、ループの高さ (P) で割るとコース数が算出できる。各コースの組織基準点を設定するために、半球形状の円弧上にループの高さ (P) ずつ離れた円周座標を抽出した。各コースの円周をループの幅 (J) $\times 8$ で分割することで、組織基準点を半球上に定めた。各コースの円周をループの幅 (J) で割ると、そのコースのウェール数を算出することができる。

$$\left. \begin{aligned} Mc &= (R / 4) / P \\ Mw &= Rc / (J \times 8) \end{aligned} \right\} \quad (3-8)$$

M_c : 総コース数

M_w : 総ウェール数

R : 半球の底面の円周 (mm)

R_c : 各コース断面の円周 (mm)

J : ループの幅 (mm)

P : ループの高さ (mm)

組織図は最大のウェール数×コース数として設計した．半球の底面部でウェール数は最大となり，半球の頂点に向かって編目が減っていく組織になる．1コース下のコースにおけるウェール数 と当該コースのウェール数の差だけ編目を減らす必要がある．

$$\Delta N = M_w - C_w \quad (3-9)$$

ΔN : 各コースの減らし目の数

C_w : 各コースのウェール数

まず, 減らし目を組織図の右寄りとなるように, ウェール密度を 25 目/10cm ($J=4.00\text{mm}$), コース密度を 29 目/10cm ($P=3.45\text{mm}$) で設計した．設計した組織図と半球形状の立体成型編のモデルを図 3-12 に示す．このモデルでは編目が組織図の右側方向へ大きく斜行しており, このような編目形状の編成は実際には困難であると考えられる．また, 球の頂点に近い部分では, 一度の減らし目の数が多く, 編むことができない編組織図となった．

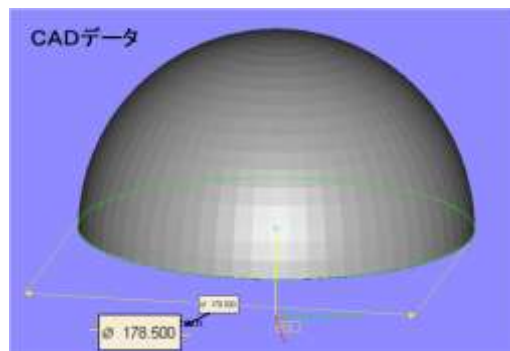


図 3-11. 半球形状の CAD データ

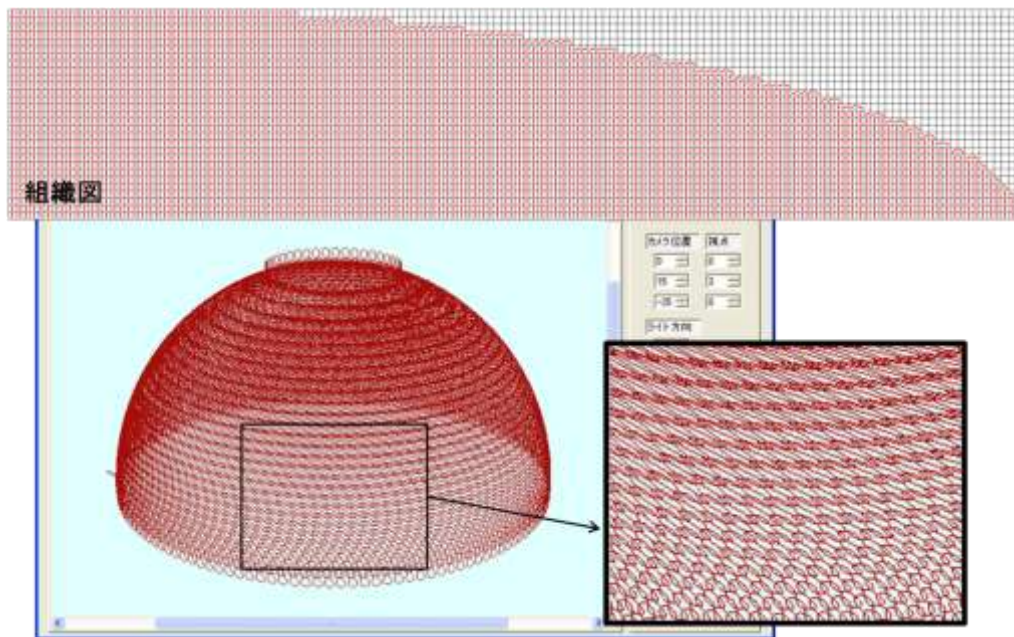


図 3－1 2．C A D データから作成した組織図と
半球形状の立体成型編シミュレーションモデル

次に、半球形状の底面から上下のコースのループを比較して、下のコースのループの組織基準点より上のコースのループの組織基準点が、ループの幅（ l ）以上に離れた場合、上のループを減らし目として組織図を設計した．設計した組織図と半球形状の立体成型編のモデルを図 3－1 3 に示す．

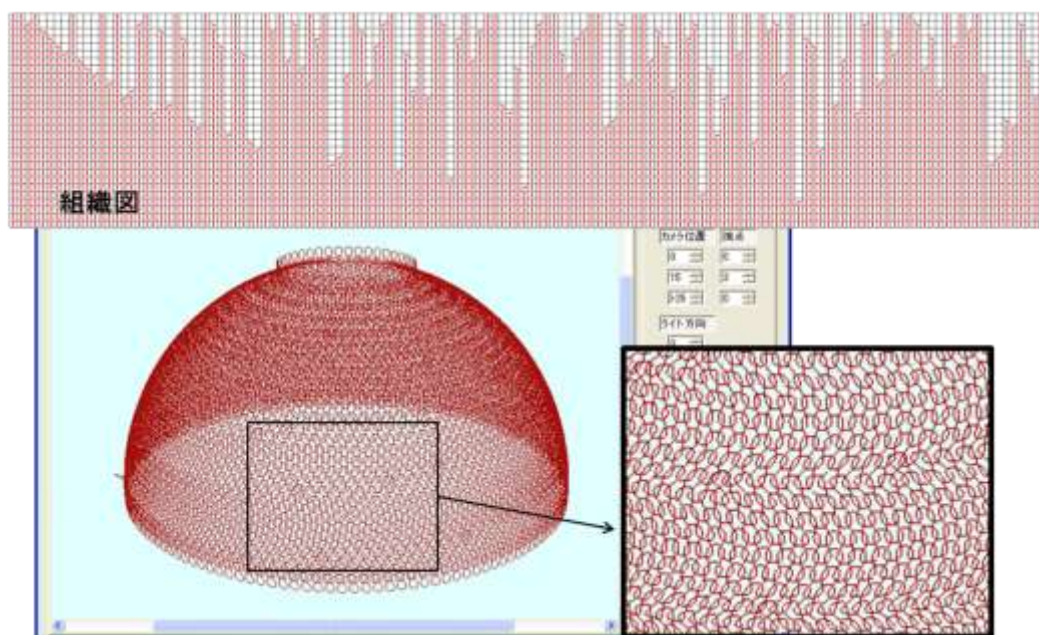


図 3－1 3 減らし部分を分散した組織図と
半球形状の立体成型編シミュレーションモデル

図3-12はモデルの編目が組織図の右側方向へ大きく斜行していたが、図3-13では編目が斜行しておらず、手編みであれば編むことができる編組織図となっていると考えられる。ただ、無縫製編機の組織図データとすることができないため、実際には編成が困難であると考えられる。

そこで、各コースの減らし目を組織図のウェール方向6か所に分割して、6枚ハギの組織図を設計した。設計した組織図と半球形状の立体成型編のモデルを図3-14に示す。図3-13のモデルと比較して編目が斜行しているが、無縫製編機の組織図データには最も近いと考えられる。

実際に編成したサンプルでは、編目が伸縮するのでシミュレーションモデルのようにループ形状が斜行することは考えにくい。しかし、無縫製編機で立体成型編をするためには、編組織図で中心線の左右が対象となるようにすることが必要である。これは筒形状を編成するとき、半分で折り返して同じ形状を2枚重ねて編むためである。そこで、設計した編組織図データは、修正を加えないと編むことができない。無縫製編機でそのまま編むことが可能な編組織図を作成するためには、さらにアルゴリズムの修正が必要であることがわかった。

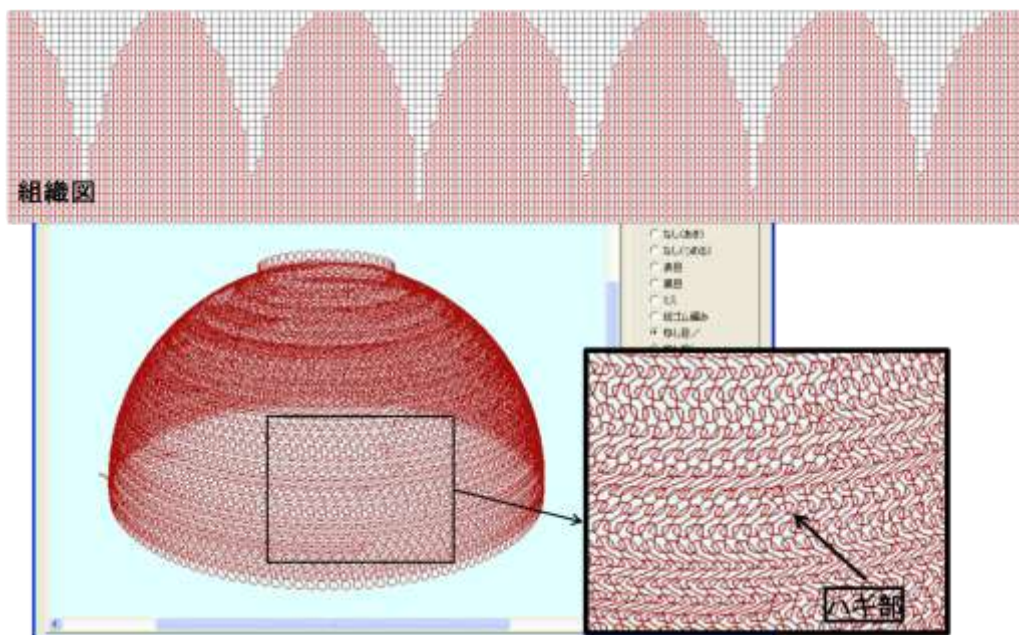


図3-14. 6枚ハギに修正した組織図と
半球形状の立体成型編シミュレーションモデル

無縫製編機でそのまま編むことが可能な編組織図を作成するため、編組織図を左右対称となる6枚ハギの組織図に修正した。作成した編組織図の左半分を、1目1ドットの

Bitmap image ファイルとして出力した．編目記号の代わりに編組織を違う色で描くこととした．出力した編組織データの Bitmap image ファイルは SDS-ONE APEX で読み込み，ニット CAD システムで作成する編成データである圧縮柄に変換できることを確認した．

6 枚ハギ以外に 2 枚ハギ，4 枚ハギの編組織データとして圧縮柄を出力できるように，編成データの算出時に選択するパラメータとした．

図 3-15 に 6 枚ハギの左右対称の編組織図と Bitmap image ファイルとして出力した圧縮柄を示す．

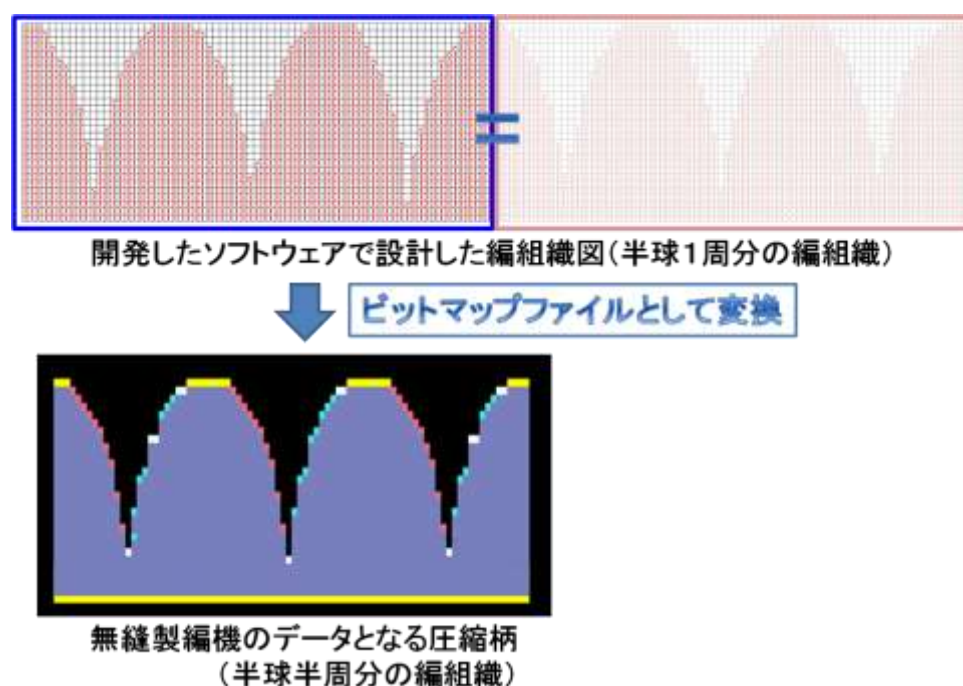


図 3-15. 左右対称の 6 枚ハギの組織図と無縫製編機データとなる圧縮柄

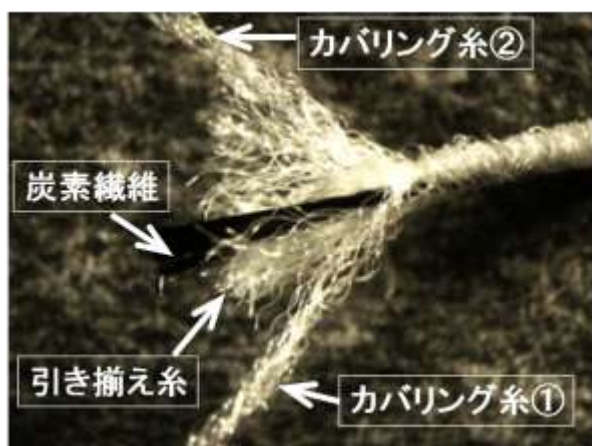
図 3-15 の組織図を無縫製編機データに変換し，試作品の編成を行った．

炭素繊維は，破断伸びが小さく曲げや摩擦に弱いため，横編機での編成時に繊維が折損しそのままでは編成することができない．そこで図 3-16 (a)に示すように，カバリング後の糸の番手が 1300D となるように，炭素繊維と引き揃えのナイロンウーリー糸をナイロンウーリー糸でダブルカバリングした炭素繊維を用いた[37-39]．炭素繊維には東レ(株)製の T-300-1000 (600D)，カバリング糸および引き揃え糸は東レ(株)製ナイロンウーリー加工糸 (50D) を用いた．カバリングは意匠撚糸機トライツイスター ON-700NF-III (オゼキテクノ(株)) を用いて行った．

組織図から編成した CFRTP ニット基材は，図 3-16 (b)である．これは図 3-16 (c)に示すように，熱プレスするだけで炭素繊維強化熱可塑性樹脂 (CFRTP) に成型できるニ

ット基材である。半球形状になっているが、試作品の円周は 50cm となり CAD データの円周 56cm (直径 17.9cm) と誤差が大きかった。これは試作品のウェール密度が 28 目/10cm ($f=3.5\text{mm}$)、コース密度が 33 目/10cm ($P=3.0\text{mm}$) となり、設計時と編目の大きさが異なったためと考えられる。同じ糸を使用しても編み幅によってループの大きさが大きく変化するため、設計時の編目サイズ測定用編地サンプルの編み幅と出来上がり製品サイズの編み幅が大きく違うと誤差が大きくなり、設計時の注意点となることがわかった。

編成した半球形状を熱プレス成型することで、シワが無い状態の半球形状の CFRTP に成型できた。



(a) カバリングした炭素繊維



(b) CFRTPニット基材の試作品



(c) プレス成型後

図 3-16. 試作品（写真のグレーの部分）(a) とプレス成型後(b)

3. 4. 2. 浮腫防止サポーター形状に対応した CAD システムの開発

浮腫防止サポーターはリンパ浮腫で脚がむくむ患者が履くことで、脚に適度な着圧をかけ浮腫を防止する目的に開発中である。既に弾性ストッキングと呼ばれる医療用製品があるが、着圧のため着用時に力がかかり着用困難であること、着用中の着心地が悪いことなどの問題がある。そこで、むくみ防止効果を損なわず着用時の快適性を保った製品の開発を目的としている。個々の患者の脚のサイズを基にして、基となるサイズのサポーター形状に編成できる編組織設計を検討した。

脚の各部位の計測したサイズからサポーター形状の組織図を設計した。設計した組織図からサポーター形状を筒編形状としてモデル化した。

脚の各部位のサイズと設計した組織図を図 3-17, 18 に示す。メッシュ組織で編んだサポーター編地のループの高さ $P = 1.09\text{mm}$, ループの幅 $J=1.32\text{mm}$ とした。サポーターの長さは、 Y 座標を計測したくるぶしからの高さ a とし、計測した各部位を中心座標 $(x, y, z) = (0, a, 0)$ の円として配置し、各円周上を通るカーディナルスプライン曲線の長さとして算出した。

$$Mc = Ls / P \quad (3-9)$$

Mc : 総コース数

Ls : サポーターの長さ

P : ループの高さ (mm)

上記で算出したカーディナルスプライン曲線からループの高さ P ごとの座標を算出する。算出した座標から各コースの組織基準点を定める。この組織基準点は円周上の座標である。

$$Nc \text{ 座標 } (x, y, z) = (0, b, c) \quad (3-10)$$

Nc : N 番目のコース

b : カーディナルスプライン曲線上の y 座標

c : カーディナルスプライン曲線上の z 座標

x 座標=0 の箇所で算出

中心座標 $(x, y, z) = (0, b, 0)$ となるので、中心座標と Nc 座標との距離を半径とした円を算出し、各コースの組織基準点を定めた。

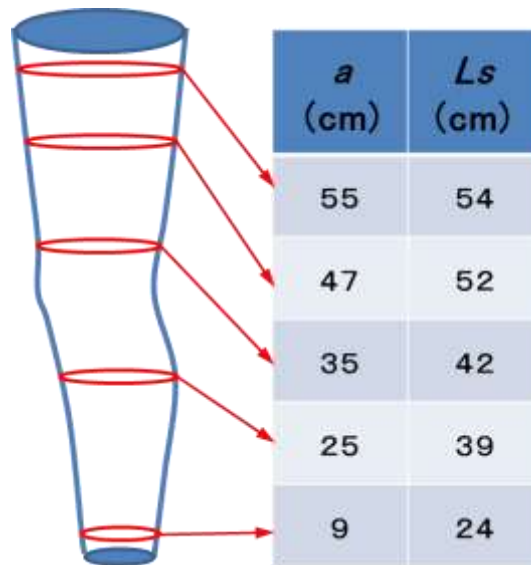


図 3 - 1 7 . サポーターのサイズ表

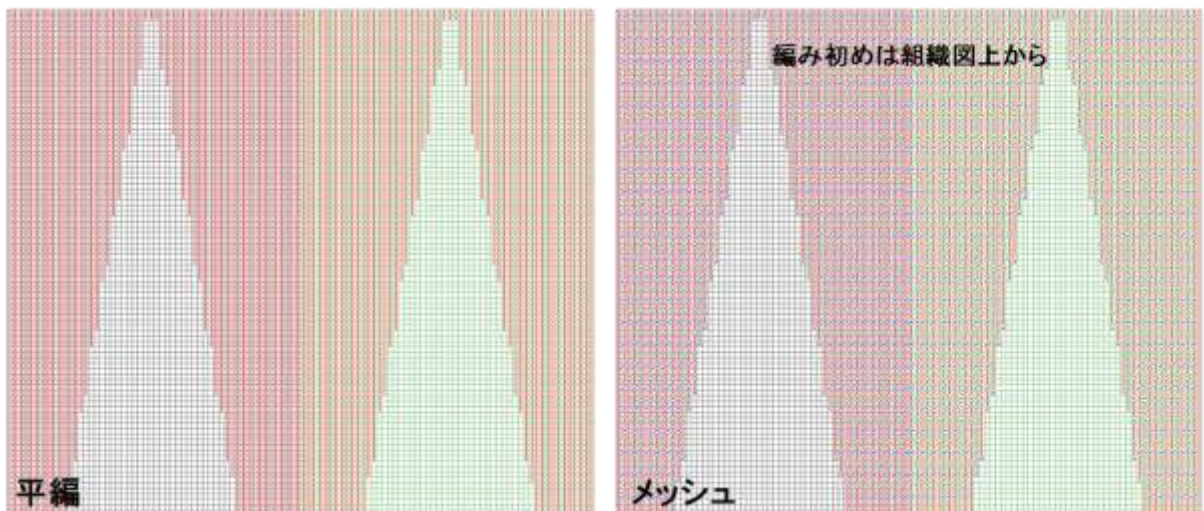


図 3 - 1 8 . サポーターのために設計した組織図

サポーターの立体成型編シミュレーションモデルを図3-19に、設計した編組織図を基に編成した試作品を図3-20に示す。設計した形状のサポーターを編成することができた。

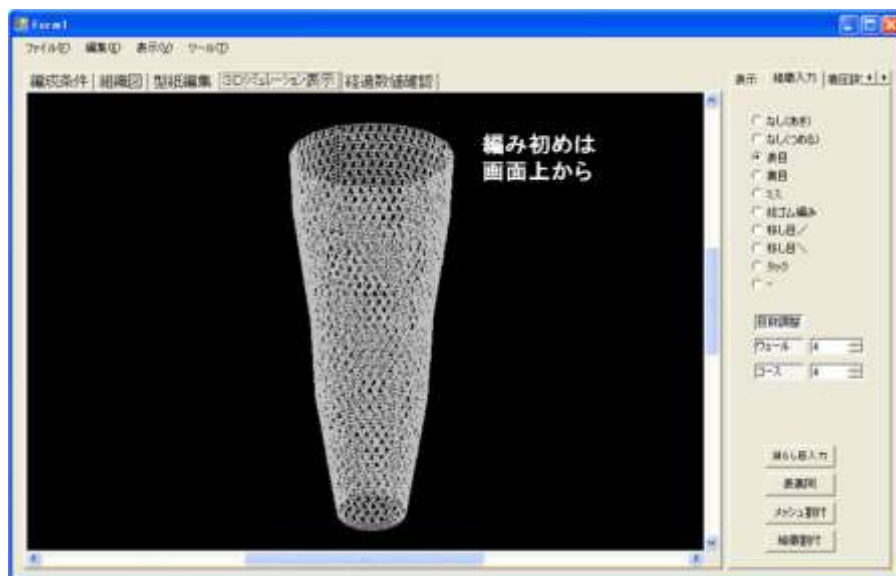


図3-19. サポーター（メッシュ組織）の製品シミュレーションモデル



図3-20. サポーターの試作品

3. 4. 3. 心臓サポートネット形状に対応した CAD システムの開発

心臓サポートネットは心拡大の患者の心臓を、無縫製編機で編んだネットで覆うことによって、心臓の拡大を防止することを目的に開発中である。図 3-21 に示すような患者の心臓の CAD データ(a)と心臓サポートネットの型紙(b)が提供されるため、それらのデータを元に編成後のネットの形状を確認するためのモデル化を検討した。

型紙からウェール数 Mw とコース数 Mc がわかっている。心臓の CAD データは、周方向(ウェール方向)に 16 分割、長軸方向(コース方向)に 8 分割されたものである。そこで、周方向に 16 分割された座標を長軸方向につないだ曲線をコース数 Mc で分割するとループの高さ P が算出できる。

$$P_n = L_n / M_c \quad (3-11)$$

P_n : n 辺のループの高さ (mm)

L_n : 心臓サポートネットの n 辺の長さ ($n: 1 \sim 16$)

M_c : 総コース数

周方向に 16 分割された座標を長軸方向につないだ曲線をコース数 Mc 分割し、図 3-22 に示すような各コースの周方向につないだ曲線を得た。周方向につないだ曲線を、各コースの編むウェール数×8 点で分割することによって組織基準点を定めた。

心臓の CAD データと心臓サポートネットの型紙から算出した、心臓サポートネットの製品シミュレーションモデルを図 3-23 に示す。

図 3-24 に実際に編成した心臓サポートネットの写真を示す。

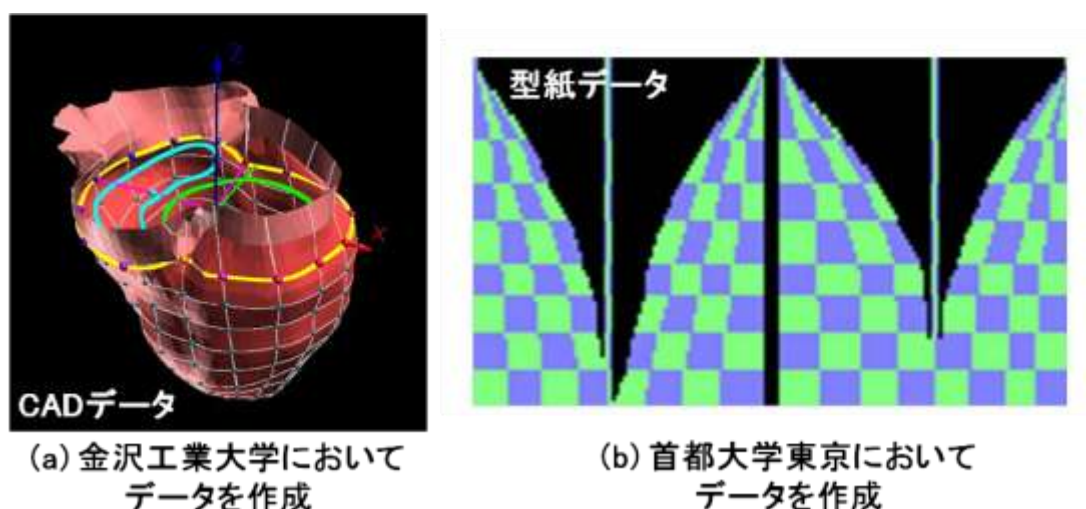


図 3-21. 心臓の CAD データと心臓サポートネットの型紙

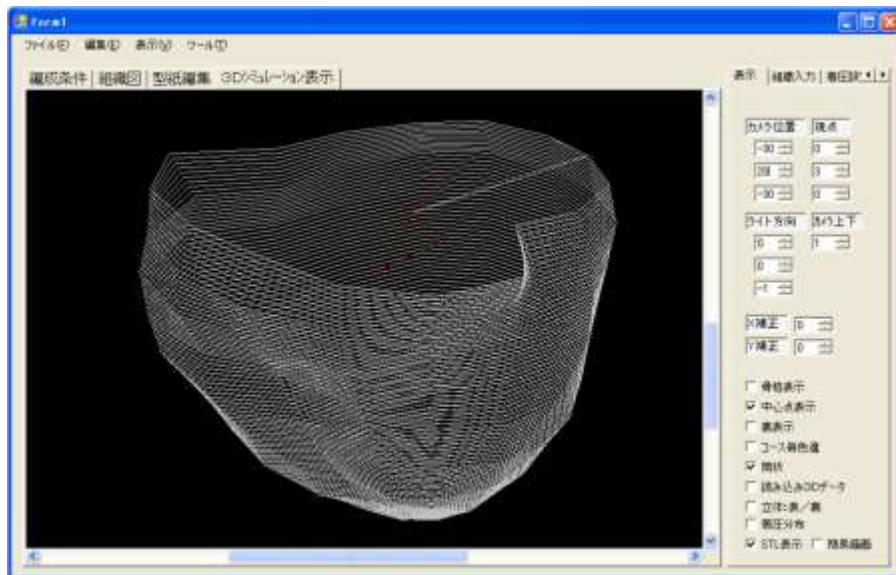


図 3-22. 心臓の CAD データから算出したコースの周方向の曲線

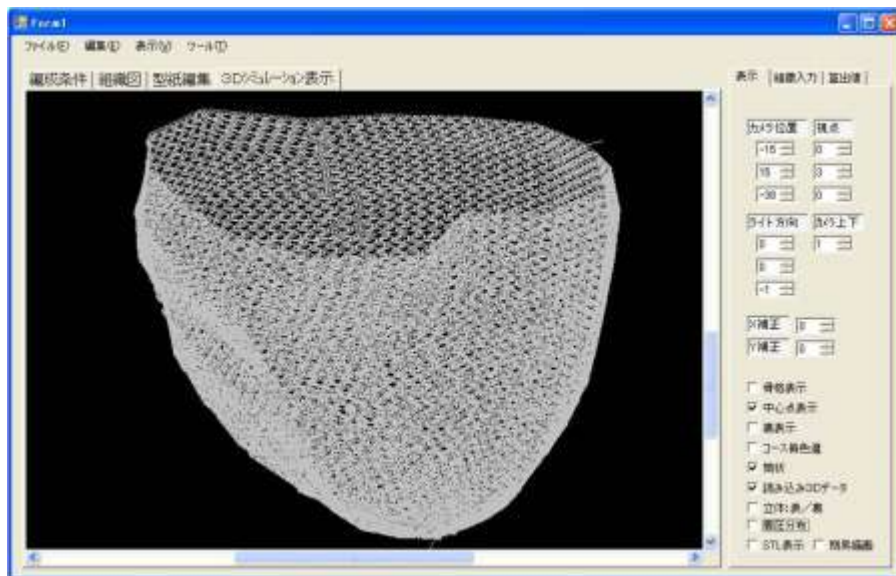


図 3-23. 心臓サポートネットの製品シミュレーションモデル（メッシュ組織）

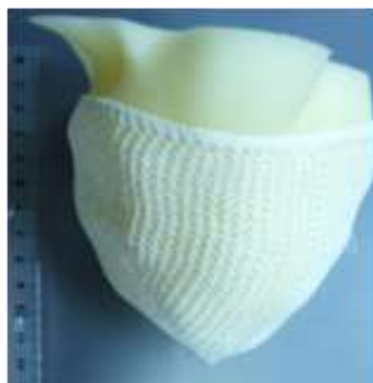


図 3-24. 心臓サポートネットの写真（メッシュ組織）

3. 5. 立体成型編ニット製品の着圧予測 CAE

浮腫防止サポーターの設計には、リンパ浮腫防止の効果を保つため一定の着圧がかかることと装着時の快適性を保つために過剰な着圧はかからないようにすることを想定する必要がある。着圧は装着部位の曲率半径に反比例するため、サポーターが均一に伸びた状態で装着した場合、着圧は脚の太さが違う部分で異なると予測される [38]。個々の患者の脚のサイズに対して想定した着圧となるサポーターの設計について検討した。

心臓サポートネットでは、治療効果のため着圧を大きくしたい部位と、拡張障害を防ぐために着圧を小さくしたい部位がある。そこで心臓サポートネットを心臓に被せた場合の心臓にかかる着圧を予測値について検討した。着圧の分布を確認するため、予測した着圧の強弱が着色された心臓サポートネットの立体成型編シミュレーションモデルを生成した。

3. 5. 1. 着圧を想定した製品設計のための簡易 CAE

サポーターを想定した着圧で設計するため、サポーターの着圧の予測について検討した。まず、チャック間隔 5cm，チャック幅 20cm でサポーター生地 of 引張試験を行い、図 3-25 に示すサポーター生地の荷重—伸び曲線を得た。

生地の引張特性から、生地幅 1cm 当たりのサポーター生地の張力と伸びは次の式に近似できることがわかった。

$$T = \Delta w \times 2 + 4.0 \quad (3-12)$$

T : 張力 (gf/cm)

Δw : 生地の伸び率 (%)

ここで、生地の張力と着圧の関係は次の式で求められることがわかっている [38]。

$$S = T / r \quad (3-13)$$

S : 着圧 (gf/cm²)

r : 曲率半径 (cm)

よって、着圧が S gf/cm² にかかる状態のサポーター生地のコース方向の張力 T gf/cm は、

$$T = S \times r \quad (3-14)$$

サポーター生地のコース方向の張力から生地伸び率 Δw %は,

$$\Delta w = (T - 4.0) / 2 \quad (3-15)$$

着圧が $S \text{ gf/cm}^2$ かかる状態のサポーターの編目ループの幅 J' が下式のとおり算出できる.

$$J = J \times (1 + \Delta w / 100) \quad (3-16)$$

J' : 張力が $T \text{ gf}$ かった状態のループの幅 (mm)

J : 張力 = 0 の時のループの幅 (mm)

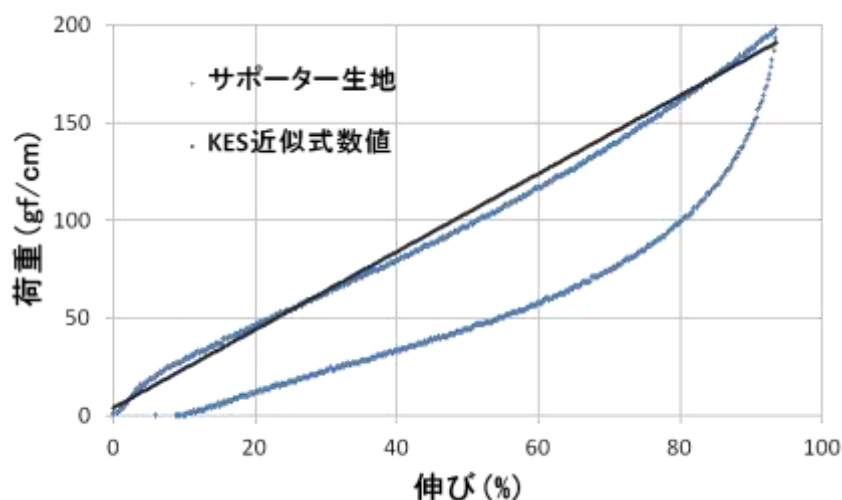


図 3-25. サポーター生地の引張特性

サポーター生地をコース方向に引張ったとき, ウェール方向の張力ほぼ 0 であり, ループの高さ $P' \doteq P$ となる. 張力 = 0 の時, 高さ $P = 1.09\text{mm}$, ループの幅 $J = 1.32\text{mm}$ となる編地のサポーターを着用したとき, 計測した各部位に着圧が 2 kPa かかるサポーターを設計した場合の数値の換算表を表 3-1 に示す.

各部位で周径 (曲率半径) が異なるため, 同じ着圧がかかるようにするためには, 各部位で編地の伸び状態を変える必要があることがわかった. よってサポーターをモデル化する場合も, 表 3-1 のように各部位でループ幅 J' を曲率半径に合わせて算出する必要がある.

表 3－1. サポーターを着圧 2 kPa で設計するための各パラメータ

脚の周径 cm	脚の 曲率半径 cm	着圧 kPa	着圧 gf/cm ²	コース方向 の張力 gf/cm	最初の 編目幅 mm	伸び率 %	設計の 編目幅 mm	指定の箇所の 1周の目数 目
55.00	8.76	2.00	20.39	178.60	1.32	87.30	2.46	223
47.00	7.48	2.00	20.39	152.62	1.32	74.31	2.29	205
35.00	5.57	2.00	20.39	113.65	1.32	54.83	2.04	172
25.00	3.98	2.00	20.39	81.18	1.32	38.59	1.82	137
9.00	1.43	2.00	20.39	29.22	1.32	12.61	1.48	61

3. 5. 2. 製品着装時の着圧予測のための簡易 CAE

無縫製横編機で編成するとき、筒形状ならば周径方向で2分割した同じ型紙（組織図）を2枚重ねた編成データを作成する必要がある。そこで、型紙全体は左右対称の見開きの形状となる。左右対称の形状では減らし目をする時、1コースで2目または4目のウェール数を減らす必要がある。図3-21に示す型紙は心臓のCADデータから作成されているが、編成できるデータ（左右対称の型紙）とするために編目数に補正がかかっているため、心臓サポートネットの周方向となるウェール数 $\times J$ のサイズと、高さとなるコース数 $\times P$ のサイズはともに心臓のCADデータと完全に一致しない。

心臓のCAD形状に型紙どおりの心臓サポートネットを装着した場合、コースごとでループの幅 J' が異なることが予測できる。また、ループの幅 J' が異なると想定した着圧からズレがでることが予測される。そこで心臓サポートネットを装着した場合に心臓にかかる予測の着圧分布を試算した。

3. 4. 3. 節で算出した心臓サポートネットの立体成型編シミュレーションモデルから、各コースのループの幅 J' mm が算出できる。図3-26に示す心臓サポートネットの生地は2軸の引張特性から、想定する着圧がかかる編地の伸び量 $\triangle w$ mm がわかる。2軸の引張特性のチャック間隔も50 mm であるから、着圧が S kN/mm² にかかる状態の心臓サポートネットのループの幅 J' が下式のとおりに算出できる。

$$J' = J \times (1 + \triangle w / 50\text{mm}) \quad (3-17)$$

J' : 張力が T kN がかかった状態のループの幅 (mm)

J : 張力 = 0 ループの幅 (mm)

引張特性の荷重-伸び曲線の a 点、 b 点、 c 点、 d 点の張力 T kN と伸び量 $\triangle w$ mm を読み取ると、各 J' は次の式で求められる。

$$\left. \begin{array}{l} a \text{ 点 : } T = 1.80 \text{ N, } \triangle w = 6 \text{ mm, } J' = J \times 1.12 \\ b \text{ 点 : } T = 1.25 \text{ N, } \triangle w = 5 \text{ mm, } J' = J \times 1.10 \\ c \text{ 点 : } T = 0.80 \text{ N, } \triangle w = 4 \text{ mm, } J' = J \times 1.08 \\ d \text{ 点 : } T = 0.50 \text{ N, } \triangle w = 3 \text{ mm, } J' = J \times 1.06 \end{array} \right\} \quad (3-18)$$

各コースの着圧分布は、各コースのループ幅 J' が a 点以上ならエンジ色、 b 点以上 a

点以下なら赤色， c 点以上 b 点以下なら黄色， d 点以上 c 点以下なら緑色， d 点以下なら白色で着色した心臓サポートネットの立体成型編シミュレーションモデルを生成した。

心臓サポートネットの着圧分布を着色した立体成型編シミュレーションモデルを図3-27に示す。この着圧分布を着色した立体成型編シミュレーションモデルはコース方向にかかる張力とループの幅で算出しており，曲率を考慮していない。心臓の形状では，サポーターのような円筒形状とは異なり，各部位の曲率が等しくない。そのため現状の着圧予測では実際の着圧分布と差が大きいことが考えられる。よって今後，曲率を考慮した着圧分布の算出する簡易 CAE システムを修正する必要がある。

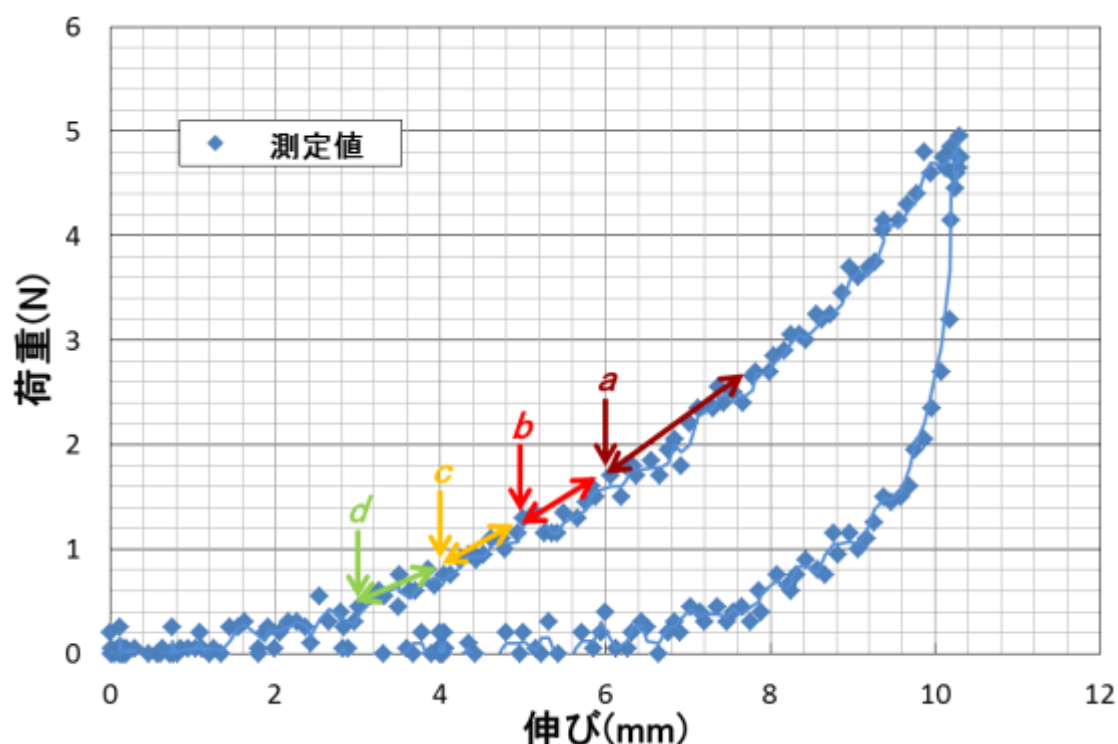


図3-26. 心臓サポートネットの引張特性

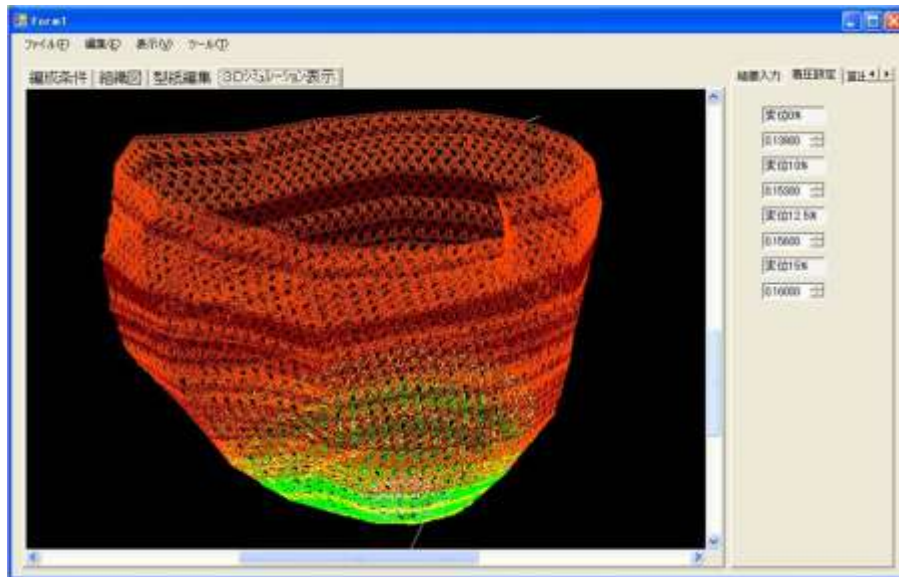


図3-27. 心臓サポートネットにかかる予測の着圧分布を着色した
心臓サポートネット製品シミュレーションモデル

また、心臓の動きにあわせ装着した心臓サポートネットの着圧も変化することが考えられる。心臓が収縮した状態の心臓形状の CAD データに、同一の心臓サポートネットを装着した場合の着圧の変化について予測値を検討した。心臓が収縮したときの各コースのループ幅 J' を算出し、前述と同条件で着圧分布を着色したときの心臓サポートネットの製品シミュレーションモデルを図3-28に示す。

心臓形状の CAD データのサイズはコース方向（周方向）のみ 95～80%まで収縮した心臓形状の CAD データから算出した。コース方向の収縮の割合で、ループの幅 J' も収縮するためループの張力も低下し、色の表示で着圧がかからなくなる状態を確認できる心臓サポートネットの製品シミュレーションモデルを生成することができた。今後、実際の着圧と比較する必要がある。

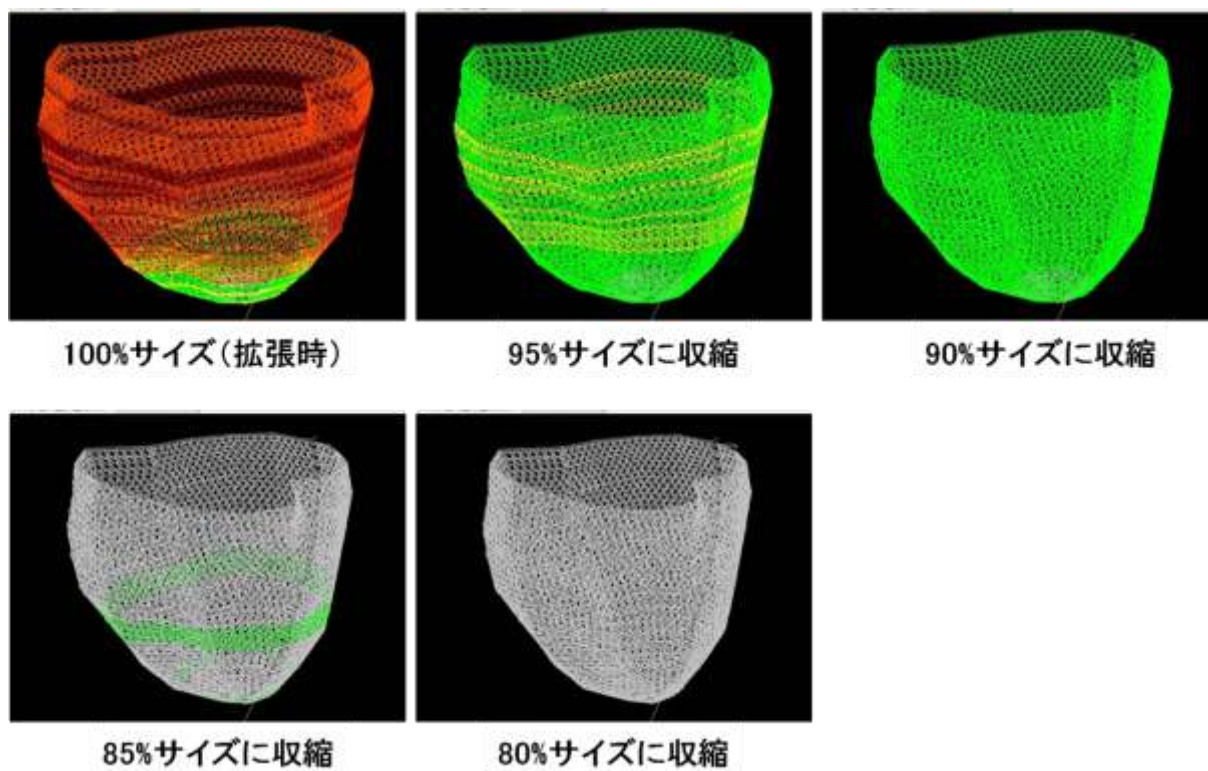


図3-28. 心臓サポートネットにかかる予測着圧分布

3. 6. 結言

本章では、立体成型編の編組織図を設計するためのアルゴリズムを検討し、編み組織図の設計ができるニット製品のための CAD システムを開発した。

次の3つのアルゴリズムについて検討し、3次元形状のニット製品シミュレーションモデルを算出することが可能となった。

- ① 筒編地のモデル化に関するアルゴリズム
- ② CAD データを元に立体成型編を行った時の立体成型編シミュレーションモデル生成に関するアルゴリズム
- ③ CAD データと型紙から立体成型編シミュレーションモデル生成に関するアルゴリズム

①～③のアルゴリズムに基づいて立体成型編シミュレーションモデルを生成するソフトウェアを開発することができた。

組織基準点を円筒状に定めることによって、ウェルト組織、タック組織、移し目組織を含む編地を筒編地シミュレーションモデルとして提示するソフトウェアを開発した。

半球形状の CAD データから、立体成型編をした半球形状の立体成型編シミュレーションモデルを生成するソフトウェアを開発した。サポーター形状については、脚の各部位の計測したサイズを元に立体成型編したサポーターの製品シミュレーションモデルを生成した。

心臓サポートネットの形状に関しては、心臓の CAD データと型紙データから編み上がりのネットの形状、ループの形状について確認できる、心臓サポートネットの製品シミュレーションモデルを生成した。

以上の内容で、立体成型編シミュレーションモデルを生成する CAD システムを開発できた。

CAD データ、測定したサイズから立体成型編の編組織図を設計する CAD システムを、次の2項目で検討し開発した。

- ① CAD データから立体成型編の組織図の設計
- ② 計測した脚のサイズから立体成型編の組織図の設計

編地シミュレーションモデルを生成するとき算出した数値を応用して、CAD データおよ

び計測した脚のサイズから、立体成型編するための編組織図の設計を行った。半球形状の CAD データから編組織図を作成できたが、無縫製編機で編成するためにはさらなるアルゴリズムの修正が必要であることがわかった。また同じ糸でもサイズが違う編地を編成する場合、編目密度（編地の幅と高さ）が変動する。設計するときの編目密度の設定値と、実際編んだ編地の編目密度の差でサイズや形状の誤差が大きくなるので注意点となることがわかった。サポーターの形状については、筒形状を基本とし、脚形状に適合するように、その円周の差から減らし目を算出し設計した。

実用の編機に適用する場合、編地が左右対称になるよう編組織を設計する必要がある。この制約条件に適合するよう、編成時に表裏が同じになるよう編組織を2分割し、左右対称となるように減らし目の半分を配置し、無縫製編機で立体成型編を行うことができる組織図として作成した。

ニット製品には効果的な着圧を必要とするものがある。ニット製品を装着したときの着圧の予測と、想定する着圧となるように立体成型編の編組織図を設計する CAD システムを次の2項目について検討し開発した。

- ① 想定する着圧となるようなサポーターの設計についてのアルゴリズム
- ② 心臓サポートネットを装着したときの着圧の予測と拡張・収縮の変形による着圧の変化

サポーター形状について、想定した着圧のかかる状態で立体成型編ができるよう、編地の引張特性から着圧を予測し、設計に反映するアルゴリズムについて検討を行った。着圧を考慮し、編組織図を設計する CAD システムを開発することができた。ただ、曲率半径が変わると着圧予測値も変わるため、今後曲率半径の違いを反映したアルゴリズムとなるよう、システムの修正が必要である。

心臓サポートネットを装着した時の着圧分布モデルと心臓の拡張・収縮による変形に伴う着圧の変化のモデルを生成することができた。こちらも曲率半径の違いについて反映させたシステムの修正が必要である。

第4章 絞りの型紙を設計・製作する CAD/CAM システムの開発

4. 1. 緒言

絞り染め製品の生産工程としては、図4-1に示すように【絵付け】【型彫り】【括り】【染め】【縫製】の工程があり、各工程で特殊な技術を有する職人による手作業で行われている。

絞りの括りを行うためには、どこに括りを施すか布帛に印をつける必要がある。括りの位置の印は、括りの位置に穴を開けたフィルムの型紙を使って布帛に捺染する。その型紙作製の工程が【絵付け】【型彫り】工程である。各種絞りにはそれぞれテンプレートがあり、図4-2のように元絵と言われる図案に使用したい括りのテンプレートと型紙のフィルムを重ね、括りの位置をフィルムに写し取る作業が【絵付け】工程である。型紙フィルムに写し取られた括りの位置を、図4-3のようにポンチを用いて一つ一つ穴を開けるのが【型彫り】工程である。【絵付け・型彫り】工程で作製した型紙を用いて括りの位置を印した布帛を、括り用の糸で縫った後糸を引き締める「縫い絞り」、括る位置の布帛をつまんで糸を巻く「巻き上げ絞り」等の作業が【括り】工程である。

本章では手作業で行われている、絞りの【絵付け】工程、【型彫り】工程の代替となるシステムを開発したので、システムの内容について報告する。

【絵付け】工程をCADシステム化するためには、「手描きの元絵を電子化する」「描画ソフトで元絵を描く」等してPC上で処理できるよう電子化する必要がある。次に括りの位置を手作業で写し取る代替りのシステムとして、電子化した元絵に自動で括りの位置を割り付けするソフトウェアを開発するために、各絞り技法のテンプレートに対応するアルゴリズムについて検討した。ポンチの代わりに、割り付けられた絞りの位置をカッティングマシンを用いてフィルムに穴を開けることで【型彫り】工程のCAMシステムとなると考え、穴のサイズや形状について検討した。

また、開発したシステムで型紙作製し、その型紙を用いて絞り染めの試作を行った。

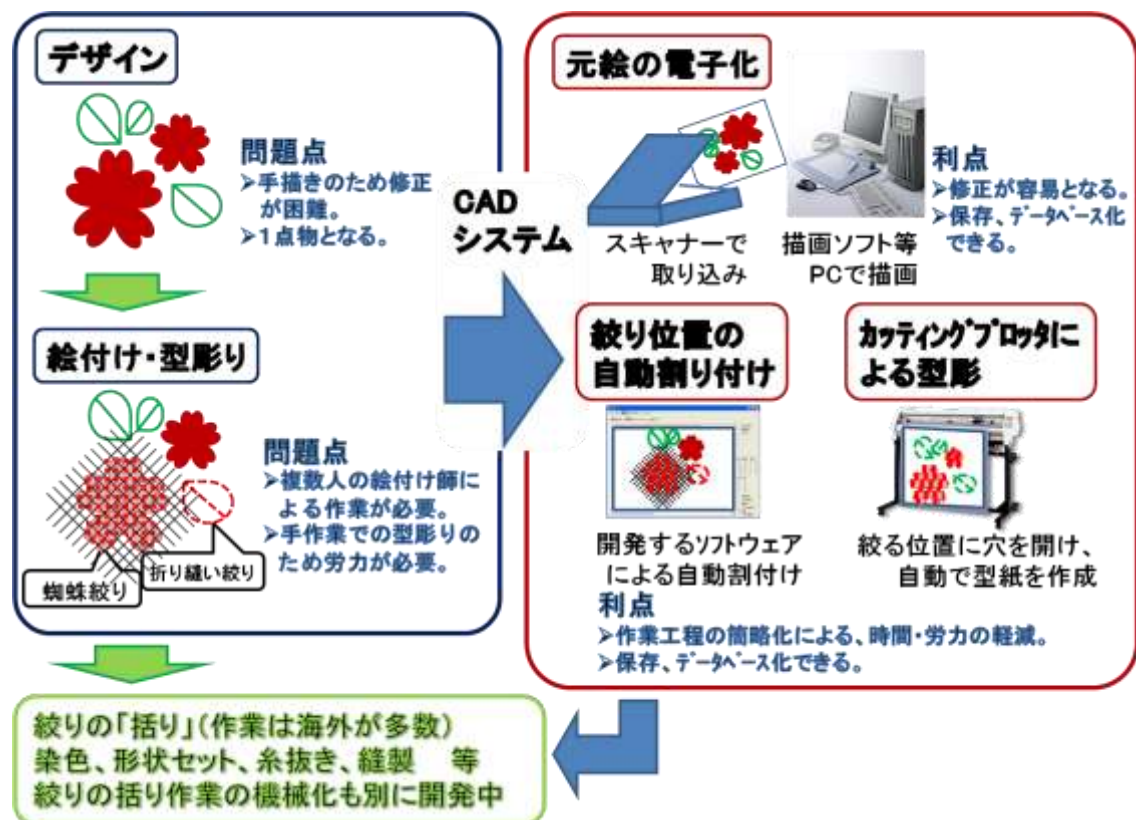


図 4-1. 従来の絞り工程と CAD/CAM システムとした場合の工程のイメージ

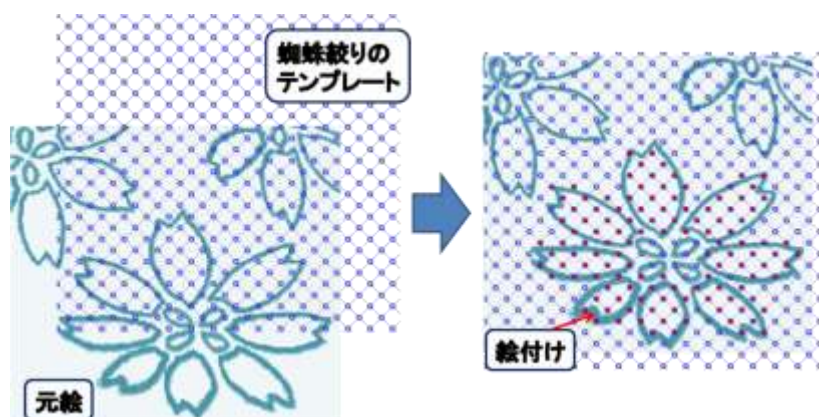


図 4-2. 絞りの【絵付け】工程イメージ

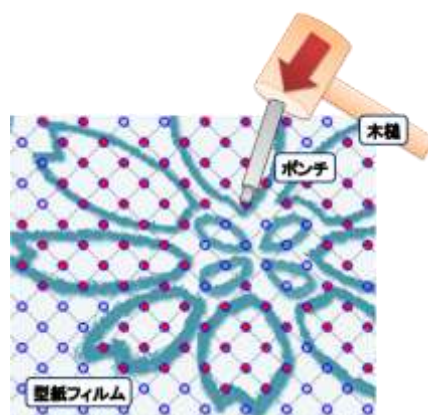


図 4-3. 絞りの【型彫り】工程イメージ

4. 2. 実験装置および開発環境

ソフトウェア開発環境としては、OS として Microsoft Windows XP、プログラム言語は Microsoft Visual Basic2005 を用いた。3次元画像表示の API には DirectX9 を用いた。元絵の画像処理には Adobe Photoshop CS5 を用いた。【型彫り】工程には Adobe Illustrator CS5 とグラフィック(株)製カッティングプロッタ (FC8000-100) を用いた。カッティングプロッタの写真を図 4-4 に示す。



図 4-4. 使用したカッティングプロッタの写真

4. 3. 絞りの【絵付け・型彫り】工程の CAD/CAM システムの開発

【絵付け】工程とは、紙に描かれた模様(元絵)に対し、どの種類の括りを行うか決め、それぞれの括りの位置を型紙となるフィルムに写し取る工程である。【絵付け】工程の代わりとなる、絞りの CAD システムの開発を行った。括りの種類としては、有松鳴海絞りで使用頻度の高い「杓目絞り」「蜘蛛絞り」「折り縫い絞り」について検討した。デザイン画である元絵は Adobe Photoshop CS5 を用いて電子化した。【絵付け】工程のための CAD システムは、主に以下の 2 つのソフトウェアで構成されている。

1. 電子化した元絵のノイズ除去や括りの種類に合わせ画像処理を行うソフトウェア
2. 元絵に対して自動で括りの位置を割り付けるソフトウェア（杓目絞り，蜘蛛絞り，折り縫い絞り）

開発する CAD システムで作成するデータのイメージを図 4-5 に示す。

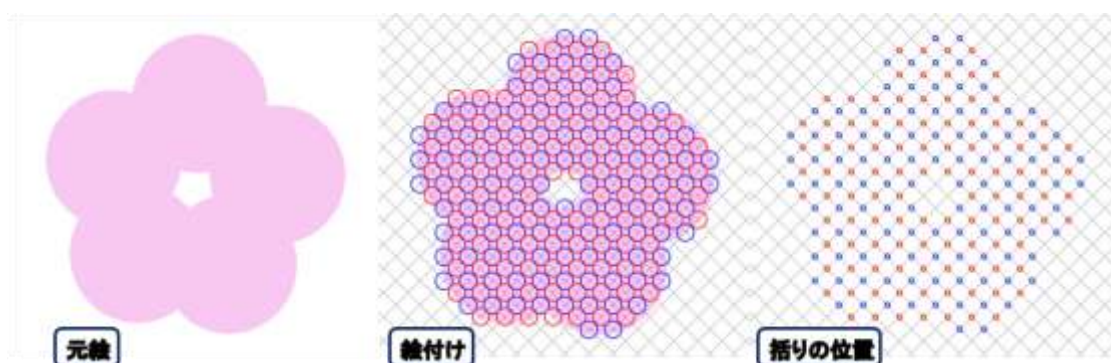


図 4－5．開発するシステムの【絵付け】工程イメージ

4. 3. 1. 元絵の電子化と画像処理

絞りの元絵はスキャナーと Adobe Photoshop CS5 を使い、Bitmap image に変換した。また Adobe Photoshop CS5 を用いて描いた画像を元絵として検討した。

【2値化とノイズ除去】

取り込んだ画像の2値化とノイズ除去のアルゴリズムの検討を行った。多色で取り込んだ画像は、図 4－6 に示すように背景色を白 (RGB : 255, 255, 255)、それ以外の色を黒 (RGB : 0, 0, 0) として元絵の画像を2値化处理することとした。図 4－6 に示すように2値化处理により黒となった背景の小さな点等は、画像を1ピクセルずつ解析し、黒色であったピクセルの上下または左右に2ピクセル離れた両方が白色ならばノイズとして消去処理することとした。

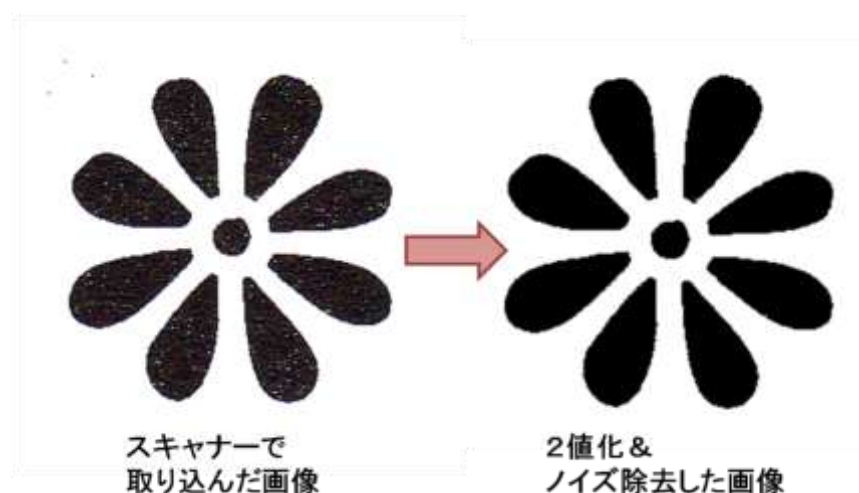


図 4－6．2 値化・ノイズ除去処理

本システムでは、「杳目絞り」「蜘蛛絞り」「折り縫い絞り」の3種類の絞り技法について、括る位置の自動割り付けについて検討を行う。よって元絵の画像ファイルは、3種類の絞り技法について、それぞれを割り付け処理しやすい画像に修正する必要があるため、その画像処理方法について検討を行った。

【杳目絞りと蜘蛛絞りのための画像処理】

「杳目絞り」と「蜘蛛絞り」は、括る部分が柄の中全体なので、柄（括りの位置の割り付け個所）が塗りつぶされている必要がある。元絵が輪郭線で描かれた画像の場合、図4-7(a)に示すように輪郭線内を塗りつぶした元絵に変換した。

$n \times m$ のピクセルの画像から輪郭線を判別し輪郭線内を塗りつぶしたいとき、図4-7(b)に示すように画像の左上から1列 $\times m$ 行 $\rightarrow n$ 列 $\times m$ 行の順番で（画像左から右へ）ピクセルの色が白（ $colorW$ ）か黒（ $colorB$ ）を判別する。それを m 行 $\rightarrow 1$ 行で行う（画像上から下へ）。 $colorW \rightarrow colorB$ に変換したピクセルを b ($b1, b2, \dots$)、 $colorB \rightarrow colorW$ に変換したピクセルを w ($w1, w2, \dots$) とする。

画像が円ならば図4-7(b)の m_b 行の部分と同様に、各行で $b1, w1, b2, w2$ のピクセルが取得でき、 $w1$ 列から $b2$ 列までのピクセルを $colorW \rightarrow colorB$ に変換することで輪郭線内が塗りつぶされる。

画像が図4-7(b)のような形状の場合、行によっては m_a 行のように、 $b1, w1, b2, w2, b3, w3, b4, w4$ のピクセルが取得できる。ここで、輪郭線内に1ピクセル指定しピクセルCとする。ピクセル $w3$ の列 $<C$ の列 $<b4$ の列となる時、ピクセル $w3 \rightarrow b4$ までを輪郭線の内のピクセルと判別し、 $w3$ 列から $b4$ 列までのピクセルを $colorW \rightarrow colorB$ に変換することで輪郭線内が塗りつぶされる。

次に画像の左下から n 列 $\times m$ 行 $\rightarrow n$ 列 $\times 1$ 行の順番で（画像下から上へ）ピクセルの色が $colorW$ か $colorB$ を判別する。それを1列 $\rightarrow m$ 列で行う（画像左から右へ）。 $colorW \rightarrow colorB$ に変換したピクセルを b' ($b1', b2', \dots$)、 $colorB \rightarrow colorW$ に変換したピクセルを w' ($w1', w2', \dots$) とする。各行で $b1', w1', b2', w2'$ のピクセルが取得でき、 $w1'$ 列から $b2'$ 列までのピクセルを $colorW \rightarrow colorB$ に変換することで輪郭線内が塗りつぶされる。列によっては、 $b1', w1', b2', w2', b3', w3', b4', w4'$ のピクセルが取得できる。ピクセル $w3'$ の行 $<C$ の行 $<b4'$ の行となる時、ピクセル $w3' \rightarrow b4'$ までを輪郭線の内のピクセルと判別し、 $w3'$ 行から $b4'$ 行までのピクセルを $colorW \rightarrow colorB$ に変換することで輪郭線内すべての部分が塗りつぶされる。

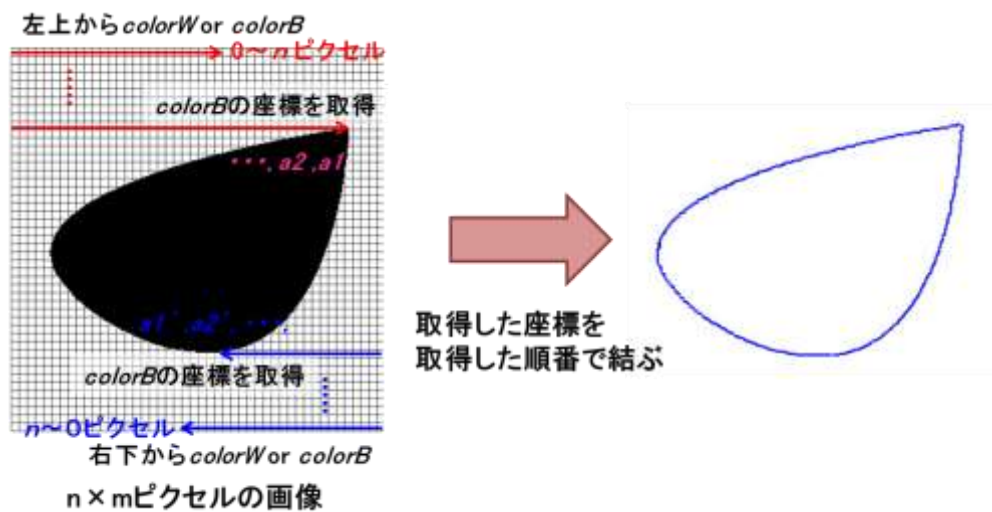


図 4 - 8 . 輪郭線描画処理

4. 3. 2. 元絵に対する杻目絞りの括り位置の割り付け

杻目絞りは絞りを施したい布帛の面に、約 10mm～20mm 間隔の横縞線となるよう約 5mm～10mm の運針で並縫いし、その並縫い糸を絞ることによって縦方向の皺が杻目模様になる絞り技法である。よって絞りを施したい柄の塗りつぶし処理を行った部分に、横縞状に並ぶようにに割り付けした並縫い線を印す型紙を作製する必要がある。まず、画像処理を行った元絵を、図 4－9 に示すように Y 方向に並縫い線の間隔 b mm と X 方向に運針のピッチ a mm の格子状に区切る。 a , b の間隔は入力した数値の変数とし、1 つの格子の中心点が元絵画像の塗りつぶされた範囲に入っている場合、その格子を括ると判別する。

1mm を 4 ピクセルとして処理しており、格子の行列を (X, Y) とすると格子の中心点の座標は、

$$\left. \begin{array}{l} \text{中心点の } X \text{ 座標} = (4 \times a \times x) - (4 \times 1/2 \times a) \\ \text{中心点の } Y \text{ 座標} = (4 \times b \times y) - (4 \times 1/2 \times b) \end{array} \right\} \quad (4-1)$$

となる。

括ると判別された格子では、格子内の上下中央部分に、1 つの格子の全幅の半分の長さの線分を描いた。括る格子の横の並びの線分が、破線の並縫い線として描かれた割り付け画像(Bitmap image)を作成した。

線分の両端の座標は、次の式で算出した。

$$\left. \begin{array}{l} \text{左端座標} = (\text{中心点の } X \text{ 座標} - (4 \times 1/4 \times a), \text{ 中心点の } Y \text{ 座標}) \\ \text{右端座標} = (\text{中心点の } X \text{ 座標} + (4 \times 1/4 \times a), \text{ 中心点の } Y \text{ 座標}) \end{array} \right\} \quad (4-2)$$

また左端座標と右端座標の部分に、括り糸を縫う時の針がとおる点を括りの位置として印し、図 4－10 に示すような破線の並縫い線を印す型紙画像(PNG image)を作成した。

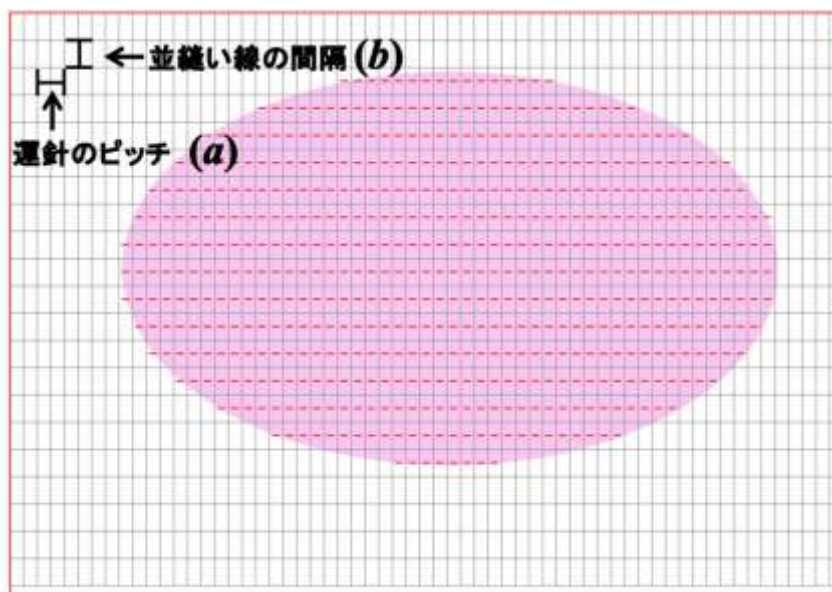


図 4－9．杓目絞りの割り付け画像

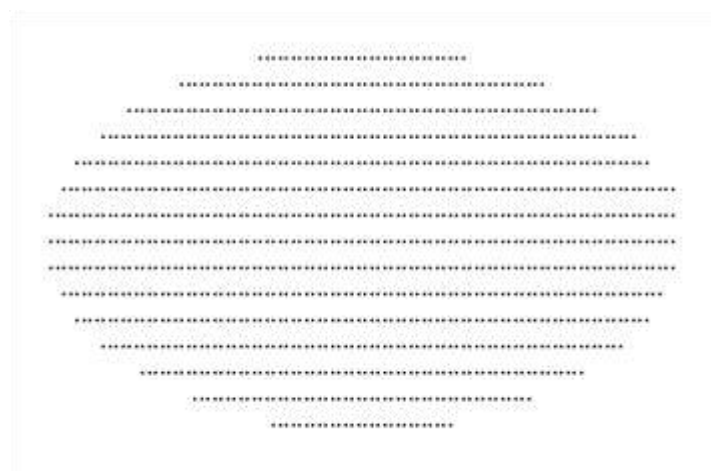


図 4－10．杓目絞りの型紙画像

4. 3. 3. 元絵に対する蜘蛛絞りの括り位置の割り付け

蜘蛛絞りは絞りを施したい布帛の面に、傘の竹骨のように皺を寄せて巻き上げて絞り、直径約 1 c m ～ 2 c m の円形で蜘蛛の巣のような絞り模様が並んだ絞り技法である。また、蜘蛛絞りは布帛の布目に対し 45° 方向に括り作業を行う。よって絞りを施したい柄に、円形を 45° 方向に密に並べた時の円の中心点を印す型紙を作製する必要がある。まず、図 4-11 に示すように型紙に直径 k mm の円を 45° 方向に密に並べるため、画像処理を行った元絵を 45° と 135° の斜線で格子状に区切る。

k は入力した数値の変数とし、斜線が交差する箇所を蜘蛛絞りの括りの中心とする。 45° 方向に見た括りの中心間の距離である格子の斜線の距離が k mm であるため、 Y 座標となる 0° 方向と X 座標となる 90° 方向の括りの中心間の距離は K mm となる。1mm を 4 ピクセルとして処理すると、 (x, y) とすると格子の中心点の座標は、

$$\left. \begin{array}{l} \text{中心点の } X\text{座標} = (4 \times K \times x) - (4 \times 1/2 \times K) \\ \text{中心点の } Y\text{座標} = (4 \times K \times y) - (4 \times 1/2 \times K) \end{array} \right\} \quad (4-3)$$

となる。

1 つの格子の中心点が元絵画像の塗りつぶされた範囲に入っている場合、その格子を括ると判別する。括ると判別された格子では、格子の中心点が円の中心となるような直径 k mm の円を描いた割り付け画像(Bitmap image)を作成した。

また括ると判別された格子の中心が蜘蛛絞りの中心となるため、図 4-12 に示すような括りの位置として点を印した型紙画像(PNG image)を作成した。

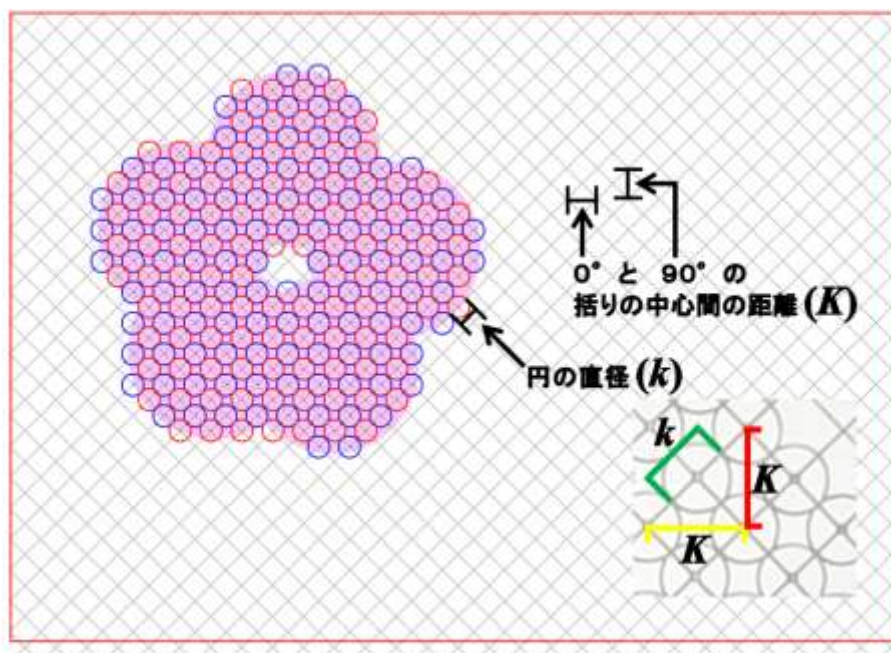


図 4 - 1 1 . 蜘蛛絞りの割り付け画像

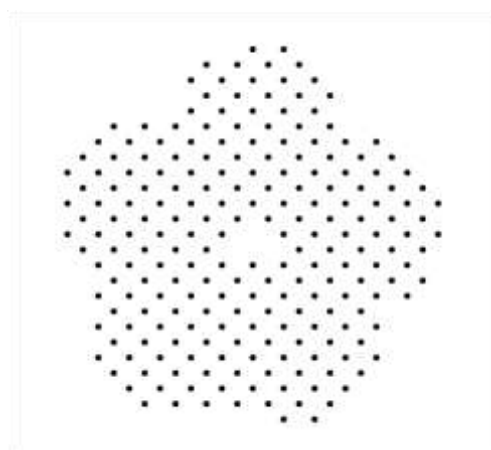


図 4 - 1 2 . 蜘蛛絞りの型紙画像

4. 3. 4. 元絵に対する折り縫い絞りの括り位置の割り付け

折り縫い絞りは柄の輪郭に沿って布帛を山折りし, 浅く並み縫いして縫い糸を絞ることによって, 柄の輪郭線が防染され模様になる絞り技法である. よって絞りを施したい柄の輪郭線を山折り線とし, 破線で印す型紙を作製する必要がある. 画像処理を行った元絵の輪郭線を山折り線とし, 図4-13に示すような輪郭線上に破線を描いた割り付け画像(Bitmap image)を作成した.

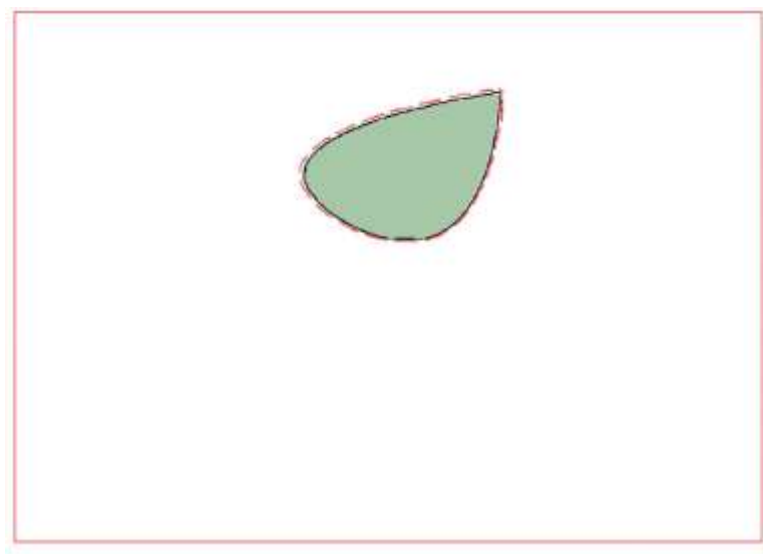


図4-13. 折り縫い絞りの割り付け画像

4. 3. 5. 【絵付け】工程の CAD システムの出力データ

開発した CAD システムで出力されるデータは以下の 4 つの形式で保存することとした。絞製品の元絵は、絞りの種類、染める色、柄の組み合わせを変えて再利用されている。手描きの元絵では、柄のサイズはそのまま再利用されるが、電子化された元絵であれば柄のサイズを拡大・縮小することで、1 枚の元絵から作成できる柄のバリエーションが広がることも期待できる。そこで元絵の画像処理を行うソフトウェアでは、各画像処理の途中および画像処理後の出力データを Bitmap image の形式のファイルとして保存することとした。

1. 元絵の「2 値化後」、「ノイズ除去後」、「輪郭線内の塗りつぶし画像」、「輪郭線の抽出画像」(Bitmap image)

カッティングプロッタで括りの位置に穴をあけて型紙を作製するために、穴の形状を印した「型紙」の画像データが必要である。元絵に対して括りの位置と絞り柄がどのように配置されているかを確認するために、元絵と括る位置を重ねた状態の画像を「割り付け画像」として作成した。さらに、絞り染めの色と絞り柄の配置を確認するために、絞り染めした布帛のイメージをシミュレーションした「イメージ画像」を作成した。

元絵に対して自動で括る位置を割り付けるソフトウェアでは、以下の 3 つの形式で出力されたデータを保存することとした。

2. 割り付けた括りの位置を印す「型紙」(PNG image)
3. 元絵に対し括りの位置の割り付けを確認するための「割り付け画像」(Bitmap image)
4. 絞り染めをした後の柄の「イメージ画像」(Bitmap image)

4. 3. 6. 【型彫り】工程の CAM システム

【型彫り】工程の代わりとなる、布帛に括りの位置を捺染するための型紙を作製するシステムを開発した。前述した CAD システムで括りの位置を印した「型紙」(PNG image) データを元に、カッティングプロッタを用いて PET フィルムに括りの位置の穴を開け型紙を作製した。図 4-14 に、手作業で穴を開けた型紙とカッティングプロッタで作製した型紙の写真を示す。

括りの位置を印した PNG image を 1 枚または複数枚で柄の配置を行い、1 枚の型紙のデザインとして合成した。Adobe CS5 Illustrator を用いて、型紙画像の印の輪郭をトレースし、カッティングプロッタへ出力した。カッティングプロッタを用い、布帛と同じサイズのフィルムをカットした。

型紙の括りの位置をカットする形状とサイズの検討を行った.括りの位置の印しとして1mm～3mmの円形および四角形にPETフィルムをカットした.作製した図4-15に示すようにカットした形状と布帛への捺染について検討した.

円形および四角形共に,1mmのサイズにカットすることができなかった.1.5mm～3mmでは,カットしたサイズどおりに布帛へ捺染することができた.型紙をカットする形状は,四角形の方が円形と比べカットするスピードが速いという利点があった.「杻目絞り」と「折り縫い絞り」の型紙で2.5mm以上のサイズの印しは,印のサイズが印と印の間の空隙より大きくなり,絞りを施す時に位置がわかりにくく不適當であった.「杻目絞り」と「蜘蛛絞り」は,1.5mmまたは2.0mmのサイズが括りを施す印しとして適していた.「折り縫い絞り」は,輪郭の曲線に印すため,より小さいサイズが適していた.

同じ布帛に複数の種類の絞りを施すことがある.そのため括り工程では捺染された印を見て,どの絞り技法を施すかを区別する必要がある.括り技法によってカットする穴の形状やサイズを変えることで,括りの種類も判別できる型紙が作製できる.

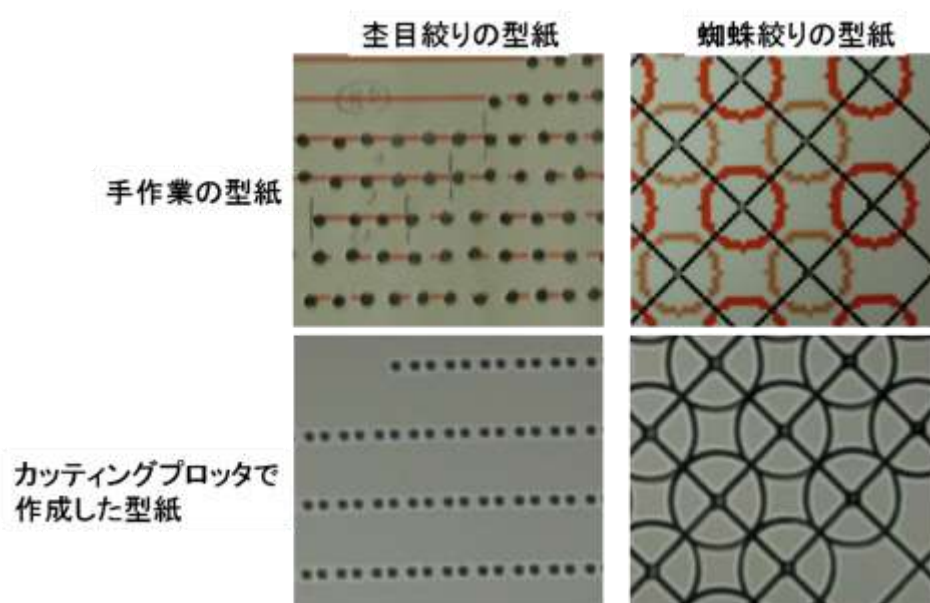


図4-14. 手作業での型彫(上)とカッティングプロッタで作製した型紙(下)

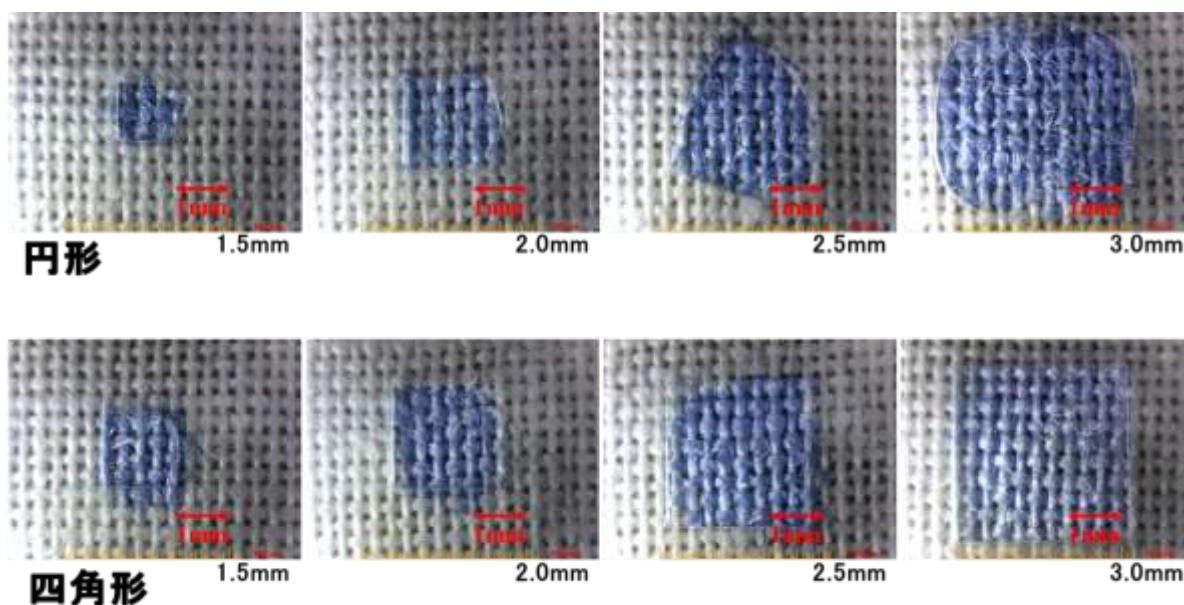


図4－15．穴の形状とサイズの違いによる捺染部分の写真

4. 3. 7. システムで作製した型紙を用いた絞り染め布帛の試作

開発したシステムを使用し、絞りの試作品を作製した．図4－16は楕円形状に杓目絞りを割り付け，JIS 添付白布（綿）に絞り染めを行った．図4－17はアジサイの花に蜘蛛絞り，葉に折り縫い絞りを割り付け，JIS 添付白布（綿）に絞り染めを行った．

開発したソフトウェアで3種類の絞りの絵付けを行うことができた(図4－16, 17)．

手作業で蜘蛛絞りの絵付け作業を行う場合，元絵の柄の輪郭線付近の括りの位置を少し柄の内側に寄せたり，逆に間隔を少しあけることで柄の形状を整えている．開発したソフトウェアでの【絵付け】作業は手作業と比較して，絞りの位置の割り付けの微調整ができない問題点があったので，今後の改良が必要であるとわかった．

カッティングプロッタを用いて，型紙画像から型紙を作製することができた(図4－16, 17)．元絵に対して括る位置の割り付けを行った図4－16および図4－17の試作品は，共にシミュレーションのイメージに近い柄で染めることができた．ただし図4－16の杓目絞りの柄のシミュレーションは，実際の柄との違いが大きく改良する必要があると考える．

開発したシステムで型紙を作製する時間は，1～2時間程度であった．柄の組み合わせ，大きなサイズの型紙を作製する時間も半日程度と考えられる．

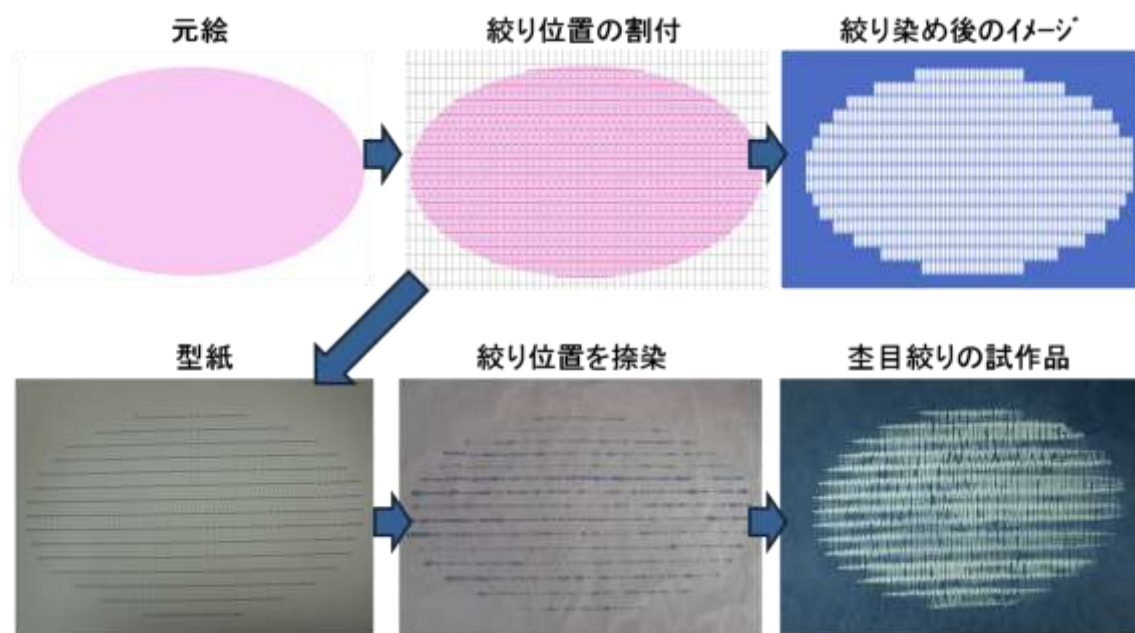


図4－16．柵目絞りの試作品

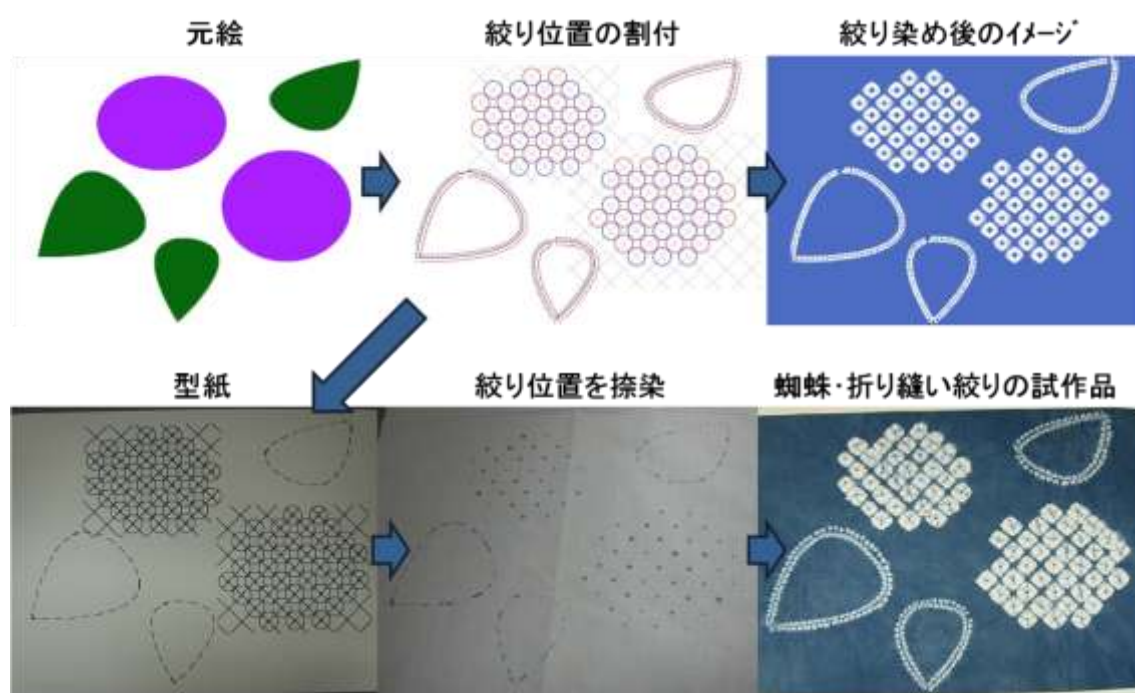


図4－17．蜘蛛絞り・折り縫い絞りの試作品

4. 4. 結言

本章では絞り染めの【絵付け・型彫り】工程の代替となる CAD/CAM システムの開発を行った。

【絵付け】工程は、元絵の電子化・画像処理、杳目絞り・蜘蛛絞り・折り縫い絞りの自動割り付けを行うソフトウェアを開発した。割り付けた括りの位置を印す「型紙」(PNG image)、元絵に対し括りの位置の割り付けを確認するための「割り付け画像」(Bitmap image)、絞り染めをした後の柄の「イメージ画像」(Bitmap image)としてそれぞれ保存することとした。

【型彫り】工程は、【絵付け】工程のソフトウェアで括りの位置を印した「型紙」(PNG image)データを元に、カッティングプロッタを用いて PET フィルムに括りの位置の穴を開け型紙を作製した。

開発した【絵付け・型彫り】工程の CAD/CAM システムを使用することで、元絵画像から自動で絞りの括りの位置を印す型紙を作製することができた。CAD/CAM システムで作製した型紙で試作品を作製し、シミュレーションイメージと試作品は類似しており、出来上がりのイメージを確認してから製品の作製ができることがわかった。

開発した【絵付け・型彫り】工程の CAD/CAM システムで型紙を作製することによって、数日間かかっていた【絵付け・型彫り】工程が数時間に短縮できることを確認した。また【絵付け・型彫り】工程の代替となる CAD/CAM システムとすれば、工程の簡略化以外にも工程が各データとして保存可能となるため、【絵付け・型彫り】工程の技術を持たない者でも絞り製品の企画設計が可能となる。絞り製品の企画設計が誰にでも行えるようになれば、これまで『絞り』に関心を持たなかった用途へ新製品の提案がしやすくなると考えられる。

第5章 絞り技法を用いた3次元形状布帛の CAD/CAM システムの開発

5. 1. 緒言

本章では、布帛を3次元的な凹凸形状にセットすることができる『絞り加工』を利用して、用途に合わせた3次元的な凹凸感のある布帛を設計することについて検討する。また、杓目絞りの【括り】工程の代替となるシステムを開発した。そのシステムの内容について述べる。

『絞り加工』を利用して、CAD データに沿うような3次元形状の布帛を設計するために、まず杓目絞りと蜘蛛絞りの2種類の絞り加工を施す位置と量を設計するアルゴリズムの検討を行った。次に CAD 図形に対して布帛を3次元の形状に沿うように括りの位置と量を設計するソフトウェア（杓目絞り、蜘蛛絞り）を開発した。

CAD データが無い場合には実物の形状に沿うように括りの位置を設計するために、対象とする立体構造物に対し、力覚提示装置を用いて座標の取得を行い、取得した座標に対して括りの位置と量を設計するシステム（杓目絞りのみ）を検討した。

杓目絞りの【括り】工程は、約 10mm～20mm 間隔の横縞となるよう並縫いした糸を絞る技法である。括りの糸を並縫いする代わりに、織物を織る段階で約 10mm～20mm の間隔で緯糸として織り込むことができれば、並縫いの工程を機械化することができると考えた。括りの糸を織り込むためには、括りの糸を杓目絞りの型紙どおり並縫い状に織り込むための織組織図を設計する必要がある。【絵付け】工程の CAD システムで作成した型紙データを元に括りの糸が織り込まれるよう、織組織図を設計するソフトウェアを開発するためのアルゴリズムを検討した。

また、開発したシステムで試作品を作製し、従来の絞り製品とシステムを用いて作製した試作品の違い等を検討した。『インテリア製品』『伸縮性とゆとりによる動きやすさを持つ機能性衣服』など、絞り加工の持つ独特な伸縮性などの特性を生かした新たな製品を想定した試作品を作製した。

5. 2. 実験装置および開発環境

ソフトウェア開発環境としては、OS として Microsoft Windows XP、プログラム言語は Microsoft Visual Basic2005 を用いた。3次元画像表示の API には DirectX9 を用いた。3次元 CAD データの作成にはエーアンドエー社製 Vector Works ver. 12.5 を用いた。CAD データと絞り3次元モデルの形状の比較と STL データの修正はマテリアライズ社製

Magics 13.0 および Mini Magics で行った。

織物の試作は、(株)トヨシマビジネスシステム製のレピア織機（織華）および(株)久保鉄工所製の力織機（KS 1A-44）を用いて行った。

5. 3. 絞り布帛のモデル化

目的の CAD データに対して布帛を 3 次元の形状に沿うように括りの位置と量を設計するソフトウェア（杓目絞り，蜘蛛絞り）を開発した。データは以下の 3 つの形式で保存することとした。

1. 割り付けた括りの位置を印す「型紙」（PNG image）
2. 元絵に対し括りの位置の割り付けを確認するための「割り付け画像」（Bitmap image）
3. 3 次元形状に沿う布帛の出来上がりのシミュレーションモデル（STL ファイル）

開発する CAD システムで杓目絞りの括りの位置を設計する手順のイメージを図 5－1 に示す。



図 5－1. 開発する CAD システムで括りの位置を設計する手順のイメージ

5. 3. 1. 絞り加工による布帛形状の変形量の計測

作成した CAD データに沿うように、杓目絞りと蜘蛛絞りの 2 種類の絞り加工を施す位置と量を設計するアルゴリズムの検討を行った。

【杓目絞りの布帛形状】

20D ポリエステルオーガンジー（目付 40g/m²）の布帛に杓目絞り（縫い絞り）を施し、180℃で 10 分乾熱セットすることで凹凸をつけたサンプルとポリエステルオーガンジー使用の絞り染め製品のブラウスについて、絞りの形状の計測を行った。杓目絞りは、絞りを施したい布帛の面に横縞線となるよう並縫いし、その並縫い糸を絞ることによって縦方向の皺が杓目模様になる絞り技法である。よって、杓目絞りは蛇腹様の形状であり、

布帛の横幅方向のみ縮む。

作製した杳目絞りのサンプル布帛は負荷をかけず平置きした場合, 図5-2に示すように布帛の横幅は70%縮み, 30%程度のサイズになることが確認できた。

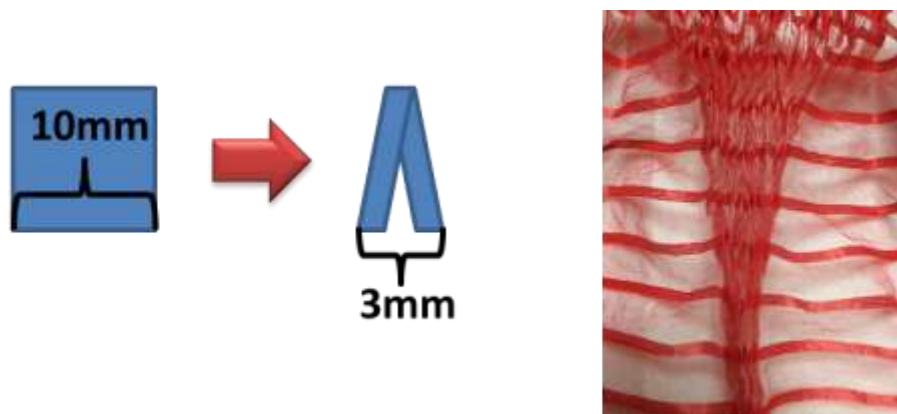


図5-2. 杳目絞りの形状の模式図

【蜘蛛絞りの布帛形状】

75D ポリエステルオーガンジー (目付 85g/m²) の布帛に蜘蛛絞りを施し, 180℃で10分乾熱セットすることで凹凸をつけたサンプルとポリエステルオーガンジー使用の絞り染め製品のブラウスについて, 絞りの形状の計測を行った. 蜘蛛絞りは絞りを施したい布帛の面に, 傘の竹骨のように皺を寄せて巻き上げて絞り, 蜘蛛の巣のような絞り模様が並んだ絞り技法である. よって蜘蛛絞りは, 布帛の縦横方向とも縮む. 作製した蜘蛛絞りのサンプル布帛は負荷をかけずに平置きした場合, 図5-3に示すように布帛の縦の長さと同幅が共に70%縮み, 30%程度のサイズになることが確認できた。

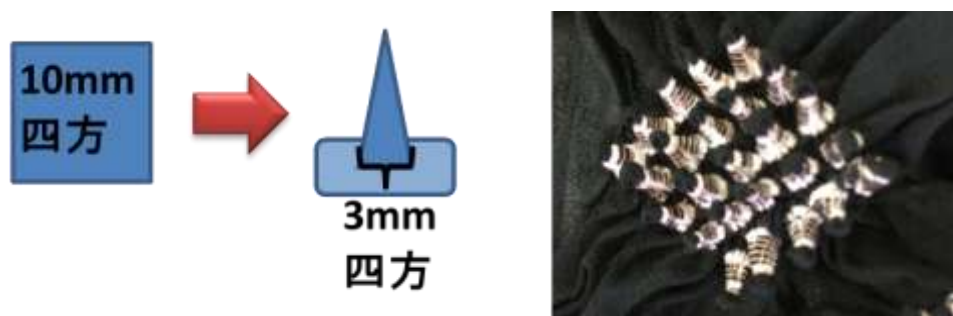


図5-3. 蜘蛛絞りの形状の模式図

5. 3. 2. 3次元形状に沿う絞り製品のための CAD システムの開発

【杢目絞りによる 3次元形状の設計】

絞りを施したいサイズの布帛を 4. 3. 2. 節の図 4－9 に示したように、10mm の格子状に区切り、絞りを施す位置を入力して杢目絞りの設計について検討した。杢目絞りは、絞りを施した布帛の 10mm 幅部分が 5mm 幅で折れ曲がった山型となり、山形の底辺が 3mm 幅となった蛇腹形状としてモデル化した。絞りを施す布帛を円筒状に縫い合わせた状態の形状としてモデル化を行った。円筒の円周は図 5－4 に示すように絞りの山型の中間に来るように算出した。杢目絞りが施されている部分の布帛の幅が 70%縮み、30%のサイズとなるため、円筒の円周を絞りの量に合わせて縮小しモデル化した。

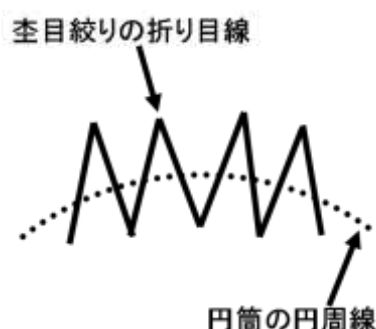


図 5－4. 杢目絞りの形状と円周の位置関係模式図

図 5－5 に示すような入力した型紙から杢目絞りのサンプルを試作し、形状について検討した。試作品は設計したランプシェードのフレームに沿った形状とサイズに絞ることができた。しかし、杢目絞りを施した部分の布帛が 70%縮み 30%のサイズとなると、杢目絞りの柄が生かされないことがわかった。また、ポリエステルオーガンジー使用の絞りに染めのブラウスについて、絞りの形状の計測を行ったところ、図 5－6 に示すように、杢目絞りの柄が生かされないことがわかった。そこで、図 5－7 に示した模式図のように杢目絞りの形状を測定した状態の 3mm サイズから少し伸びた 10mm→5mm として設計し、シミュレーションモデルを作成した。

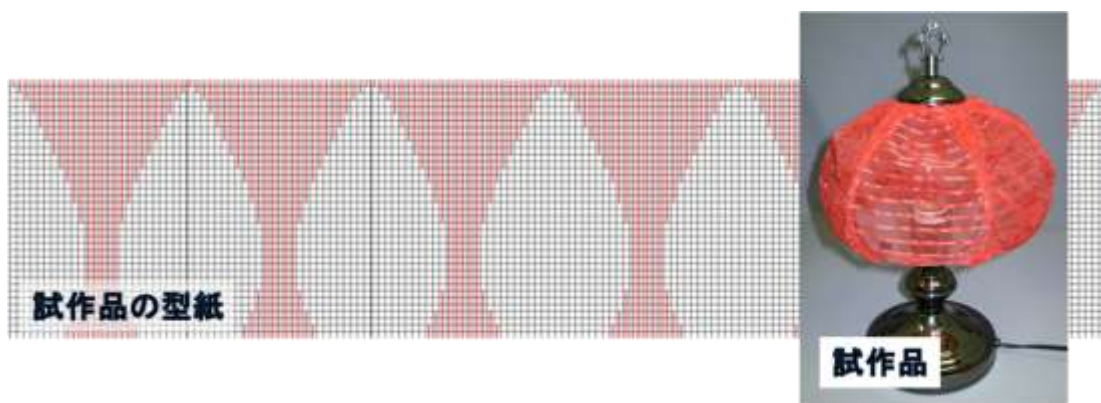


図 5－5．杳目絞りによる 3 次元形状の試作品



図 5－6．布帛の縮み率の違いによる杳目絞りの柄の変化

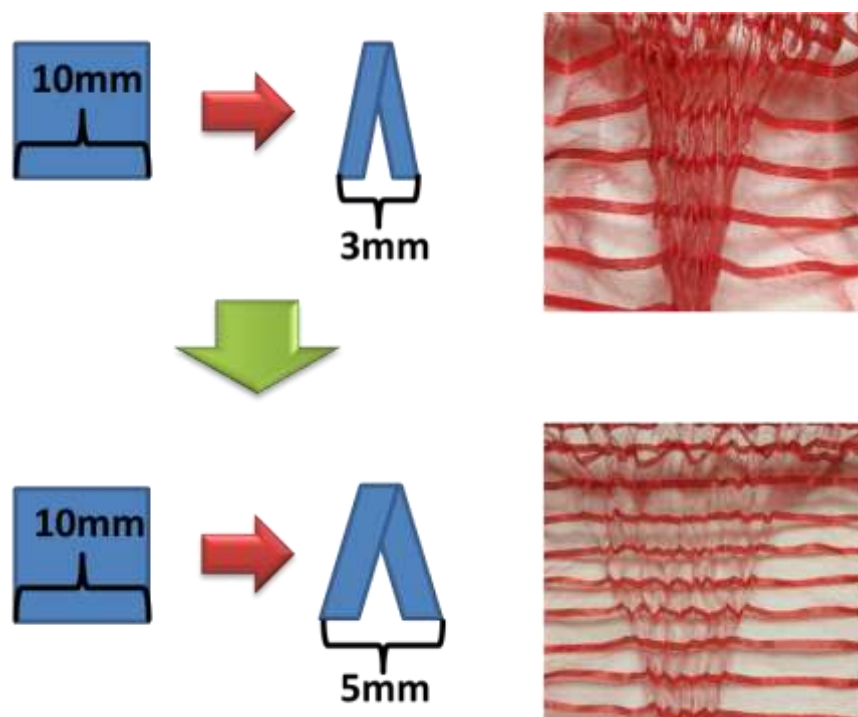


図 5－7．杳目絞りの形状の模式図とサンプル写真

【蜘蛛紋りによる3次元形状の設計】

紋りを施したいサイズの布帛を4.3.3節の図4-11に示したように 45° と 135° の斜線で格子状に区切り、紋りを施す位置を入力して蜘蛛紋りの設計について検討した。蜘蛛紋りは、紋りを施した布帛の直径10mm部分が斜線5mmで底面の直径が3mmの円錐形状としてモデル化した。紋りを施す布帛を円筒状に縫い合わせた時の形状としてモデル化を行った。円筒の円周は図5-8に示すように蜘蛛紋りの底面部分となるよう算出した。蜘蛛紋りが施されている部分の布帛の幅と高さが70%縮むため、円筒の円周と高さを紋りの量に合わせて縮小しモデル化した。

入力した型紙から蜘蛛紋りサンプルを試作し（図5-9）、形状について検討した。試作品は想定したサイズに絞ることができたが、10mm→3mm四方で縮めると紋りの柄が生かされなかったため、蜘蛛紋りの形状を測定した3mm四方サイズから少し伸びた10mm→5mm四方として設計し、シミュレーションモデルを作成した（図5-10）。

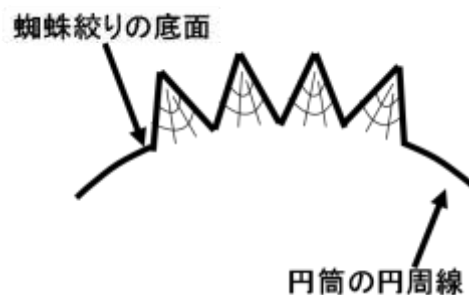


図5-8. 蜘蛛紋りの形状と円周の位置関係模式図

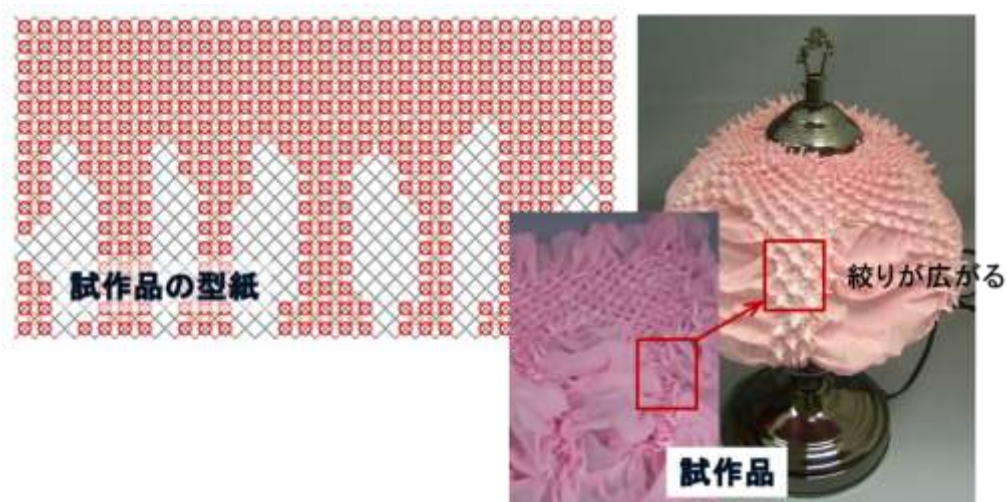


図5-9. 蜘蛛紋りによる3次元形状の試作品

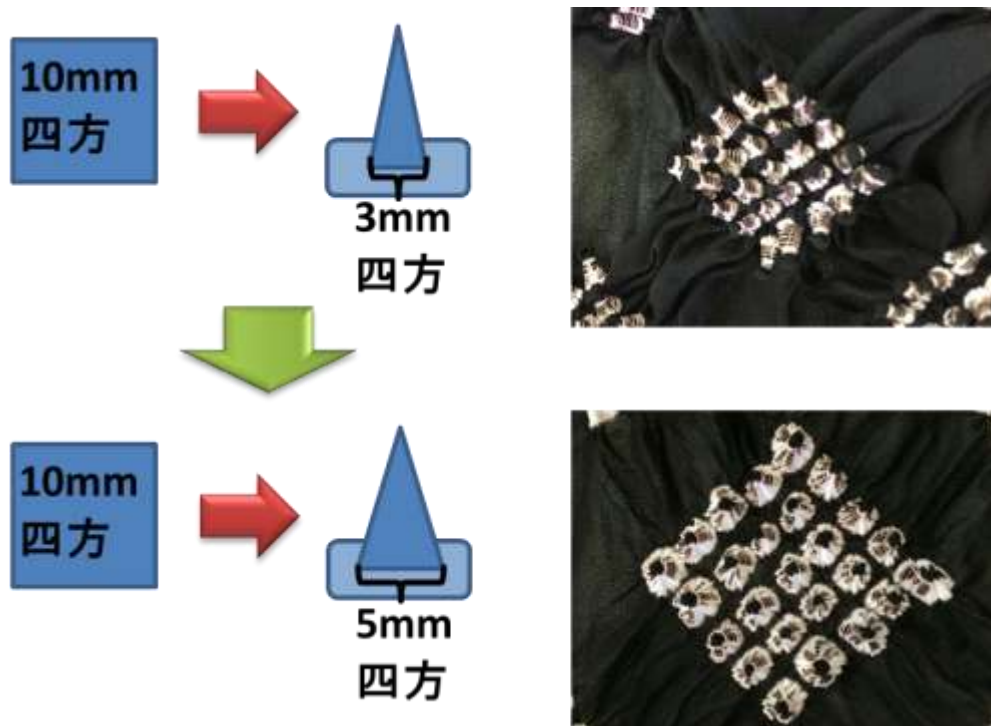


図 5 - 1 0 . 蜘蛛絞りの形状の模式図とサンプル写真

5. 3. 3. 力覚提示装置を使用した設計システムの検討

CAD データが無い場合でも絞り技法を用いて布帛を 3 次元形状に沿うよう設計するため、対象とする立体構造物に対し、図 5-11 に示すように力覚提示装置を用いて座標の取得を行い、設計を行えるシステムについて検討した。



図 5-11. 力覚提示装置を用いた 3 次元形状の取得

円筒形状の布帛を実物のランプシェードの形状にするために絞りを施す時、Y 軸の基準点（ランプシェードの中心軸）と筒状布帛の直径に対して、浮いている部分に絞りを施す作業を、実物のランプシェードから座標を取得して行った。

Y 軸の基準点【ランプシェードの中心軸】と筒状布帛の直径【ランプシェードの最大径部分】と絞りたい部分の直径【ランプシェードの最小直径部分】の 3 点の座標を取得し、図 5-12 に示すように中心軸からの距離で最大直径、最小直径、最大直径部分から最小直径部分の高さを算出し、測定した部分の絞りを施す位置を設計した。

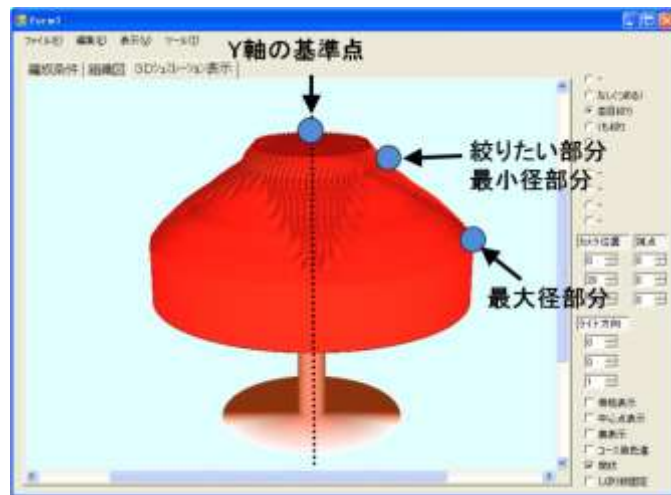


図5－12．取得した座標と設計した布帛のシミュレーションイメージ

上記の3点の座標をソフトウェアに取り込み設定することにより、布帛の浮いている部分について杓目絞りを施すシステムを開発した。現在座標の取り込みとシミュレーションが別のソフトウェアであることと座標が数値であるため、今後座標の取り込みを自動で行うように修正し、取り込んだ座標もパソコンの3次元画像としてリアルタイムで表示できるよう、ソフトウェアの修正を行いたい。

5. 3. 4. 絞りを応用した3次元形状織物の試作

開発したシステムを使用し、絞りの試作品を作製した。図5－13は、杓目絞りをを用いて円筒形状の布帛を楕円体形状のCADデータに沿うよう、JIS添付白布（ポリエステル）に杓目絞りの括りの後180℃で10分乾熱セットを行った。図5－14は、蜘蛛絞りをを用いてランプシェードのフレームに沿う形状となるよう、75Dポリエステルオーガンジー（目付85g/m²）の布帛に蜘蛛絞りの括りの後180℃で10分乾熱セットを行った。また、絞りを施した布帛の形状のシミュレーションモデルの確認を行うために、シミュレーションモデルのSTLデータから3Dプリンターを用いて樹脂モデルを作製した。

3次元形状に沿うように設計した図5－13および図5－14の試作品は、共に基にしたCAD図に沿う形状に絞り加工することができた。またシミュレーションモデルのSTLデータから作製した樹脂モデルは、杓目絞りでは試作品をランプシェードに被せた形状と極めて似た形状になっていることが確認できた。蜘蛛絞りの樹脂モデルについては、試作品の布帛と比べ括りの形状に歪みが見られるが、全体の形状としては似た形状になっていることが確認できた。よって、シミュレーションで製品の出来上がり形状を確認できることがわかった。

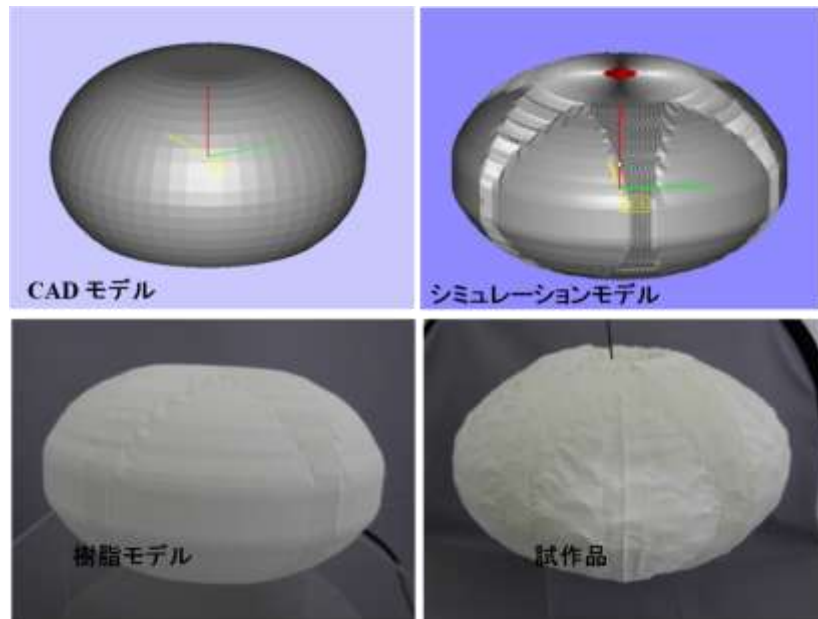


図 5 - 1 3 . 杻目絞りによる試作品とシミュレーションモデルから作製した樹脂モデル

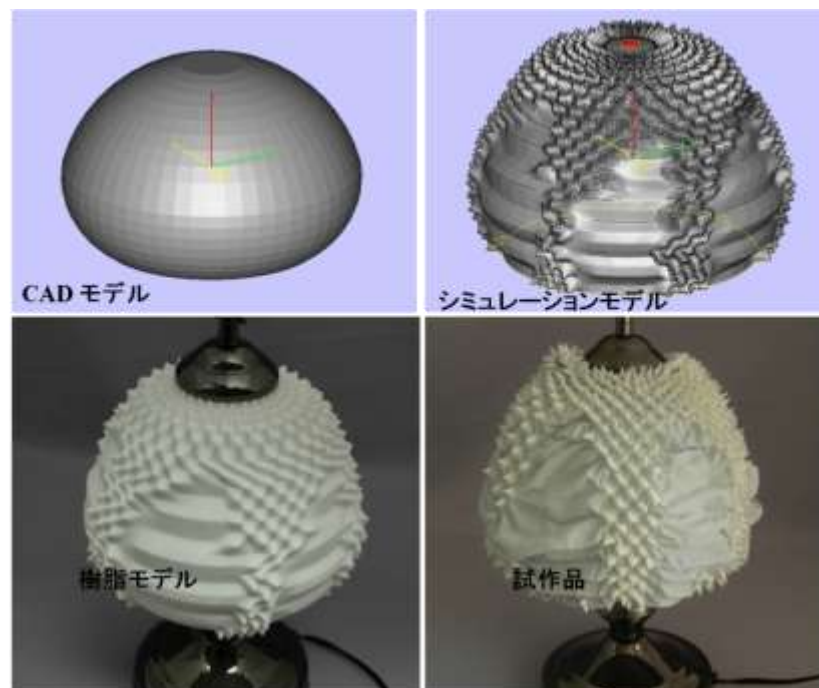


図 5 - 1 4 . 蜘蛛絞りによる試作品とシミュレーションモデルから作製した樹脂モデル

5. 4. 杓目絞りの括り糸を織り込んだ織物

杓目絞りは並縫い糸を絞ることによって縦方向の皺が杓目模様になる絞り技法であるため、杓目絞りの括り糸となる並縫いの糸を緯糸として織り込めば、並縫い作業の代わりとなる。図5-15に杓目絞りの括り糸の模式図を示す。図5-15のように括り糸を織り込むためには、括り糸が杓目絞りの並縫いのように織り込む織組織図を設計する必要がある。

そこで、並縫いの糸を緯糸として織り込むための織組織図を設計するソフトウェアの開発を行った。

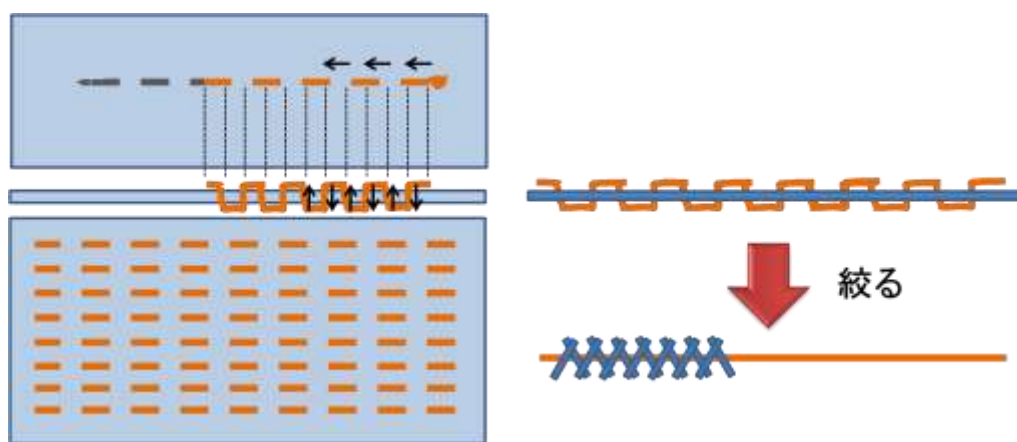


図5-15. 杓目絞りの括り糸の並縫いイメージ

5. 4. 1. 括り糸を織り込んだ織組織図の設計

4. 3. 2. 節の図4-9に示した規則で、杓目絞りの括りの位置を入力した型紙データ元に、織組織図を設計するアルゴリズムについて検討した。

図5-16に作成した織組織図を示す。まず、絞りの型紙を作製する織物の密度で分割し、下地の織物の組織図を入力した。下地の織物は平織組織とした。次に杓目絞りの括りの糸を緯糸として織り込む間隔を10mm～20mm間の値に、並縫いのピッチを5～20mm間の値に設定する。括り糸の組織が、設定したピッチの並縫いとなるよう織物の表裏に浮き沈みする組織とし、平織組織図に横1列分の括り糸の織組織図を挿入して杓目絞りの括りの糸を織り込むための織組織図として設計した。

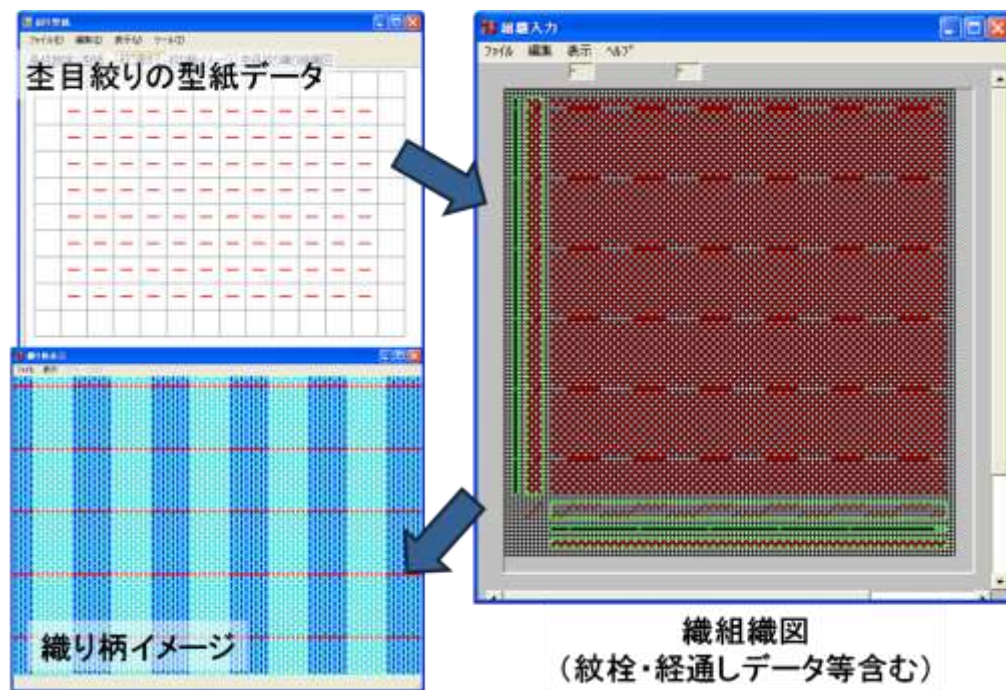


図 5-16. 括り糸を織り込むための織組織図と織り柄イメージ

5. 4. 2. 括り糸を織り込んだ織物の試作

前述のソフトウェアで作成した織組織図を用いて、織物の試作を行った。表5-1に試作した織物の設計データ、図5-17に織組織図を示す。試作した織物は織り込んだ括り糸を絞って180℃で10分乾熱セットし、括りの形状を確認した。図5-18に示すように杻目絞り様の蛇腹形状にセットできたが、織り込むことで括り糸が手縫いするときより正確なピッチで入るため、正確なヒダの蛇腹の形状となった。図5-19に示すように括り糸の浮き沈みを1本ごとに交互にして市松様にするすることで、杻目絞りとは異なる様子の絞りを行うこともできた。

表5-1. 試作織物の設計データ

原	種 類	番手	製	経 密 度		緯 密 度	
				箆	箆 通 巾	打 込 数	
系	経	綿糸	20/2	60.0	羽 /10cm	30.0	cm
	緯	ポリエステル糸	2/60	引込本数		240	本/10cm
		括り糸	20/2	2	本		

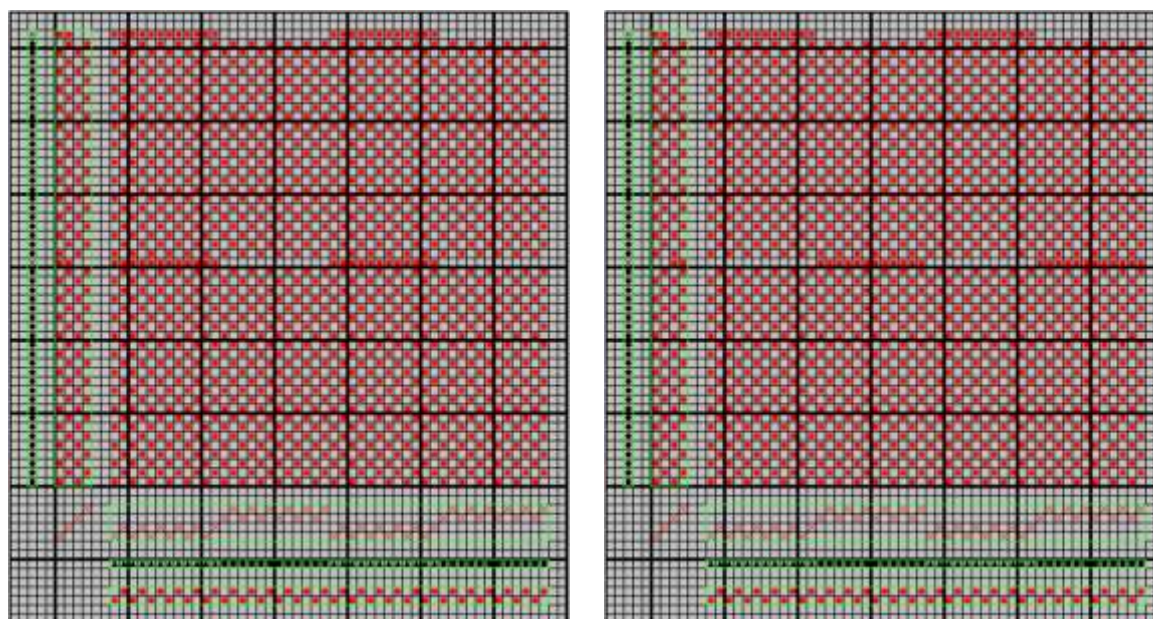


図5-17. 括り糸を織り込んだ織物の織組織図（左：平行，右：市松）

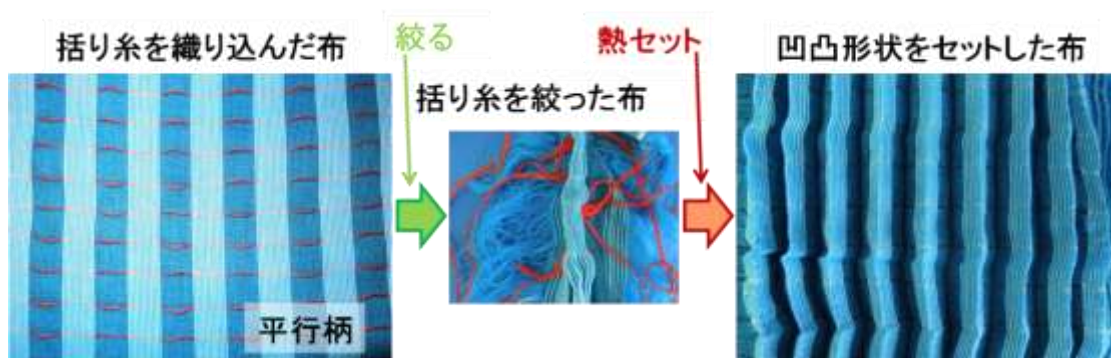


図5－18．括り糸を織り込んだ織物試作品



図5－19．括り糸を織り込んだ織物試作品（市松状）

さらに杓目絞りの括り糸を織り込み、絞りの凹凸形状を 180℃で 10 分乾熱セットすることで、無縫製でワンピースの形状となる織物を試作した．表5－2に試作した織物の設計データ，図5－20に織組織図，図5－21に試作品の写真を示す．

下地の織物を平2重織にし、織物の両耳部分で2重織を接結し筒状の織物とした．肩にあたる部分も接結し、袖ぐり、首ぐりとなる部分は接結しない織組織として、筒織生地 of 身頃，ウエスト部分に括り糸を織り込み絞って熱セットすることにより、ワンピースとして着用できる織物が作製できた．

表5－2．無縫製ワンピース織物の設計データ

原	種 類	番手	製	経 密 度		緯 密 度	
				筵	筵 通 巾	打 込 数	
糸	経	梳毛糸	2/48	78.7	羽 /10cm	88.9	cm
	緯	梳毛糸	2/48	引込本数		315	本/10cm
		括り糸	10相当	4	本		

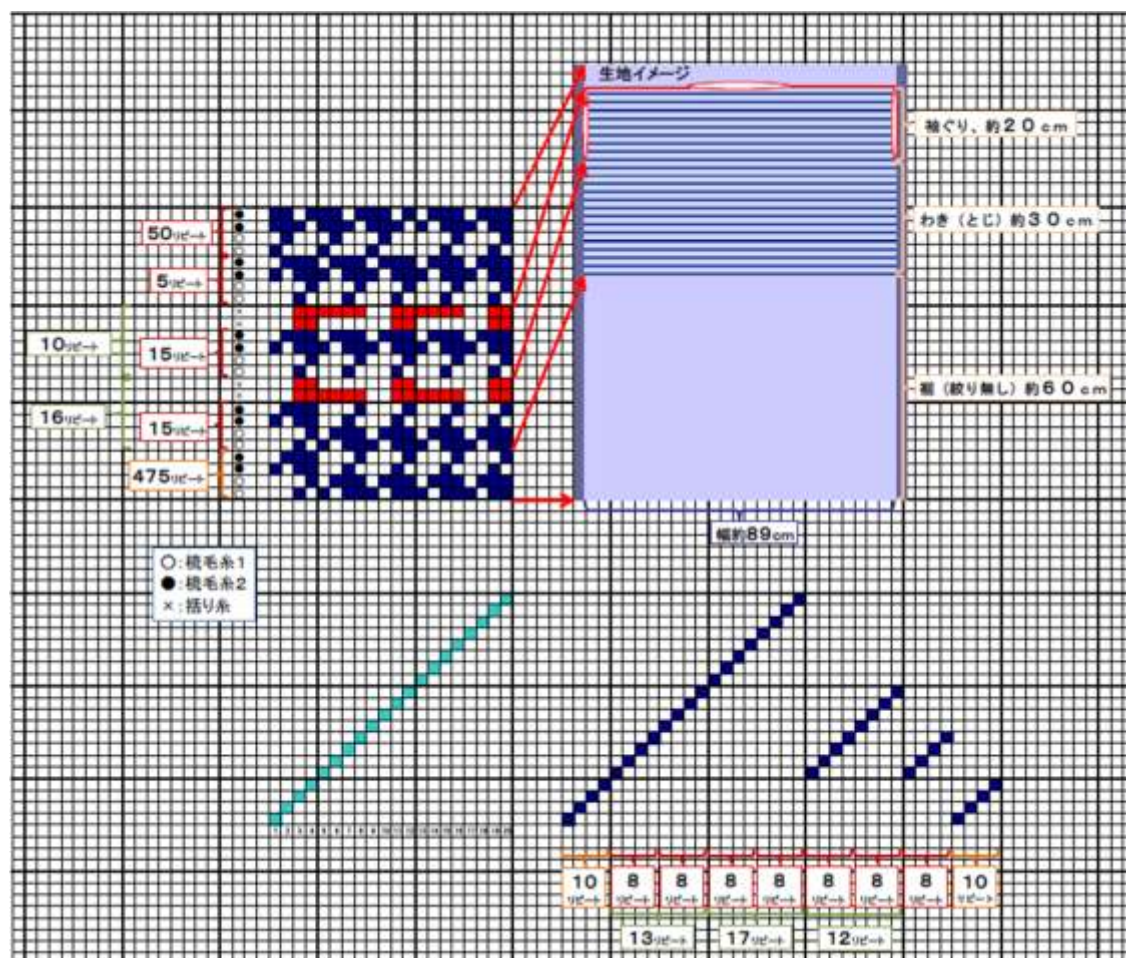


図5-20. 括り糸を織り込んだ織物の組織図

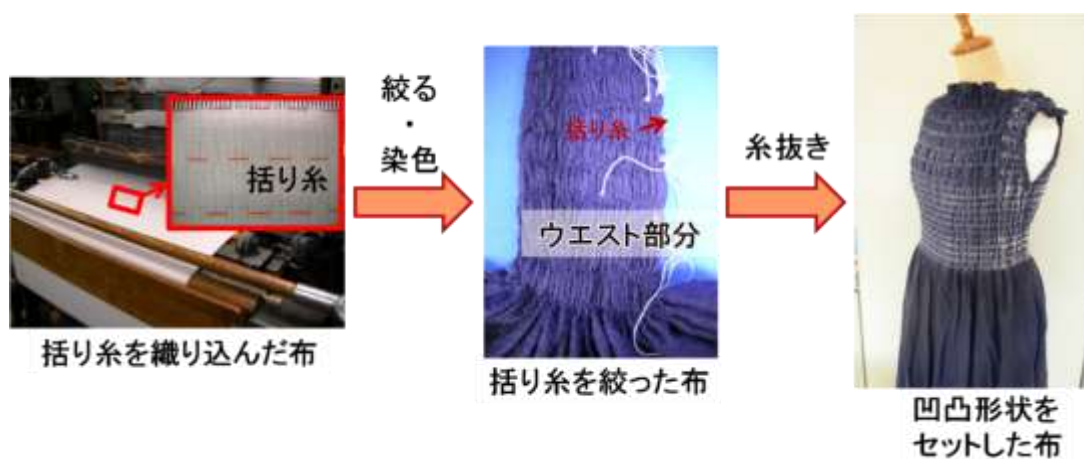


図5-21. 括り糸を織り込んだ織物試作品

図5-22に、従来の手作業で絞り加工を行う場合の洋服の製造工程と括り糸を織り込んだ絞りの製造工程のフロー図を示す。開発したソフトウェアを用いて括りの糸を織り込むことで、熟練の技術を必要とせず、これまで手作業で行ってきた作業を電子化・機械化することができ、労力・作業時間をおおよそ1/5～1/10に大幅短縮することが可能であると考えられる。

凹凸の形状を熱で固定した織物には独特の伸縮性があり、広幅の織物を縫製することなく、体のラインにフィットするようにウエスト等を絞るだけで、きれいなシルエットを出せることが確認できた。

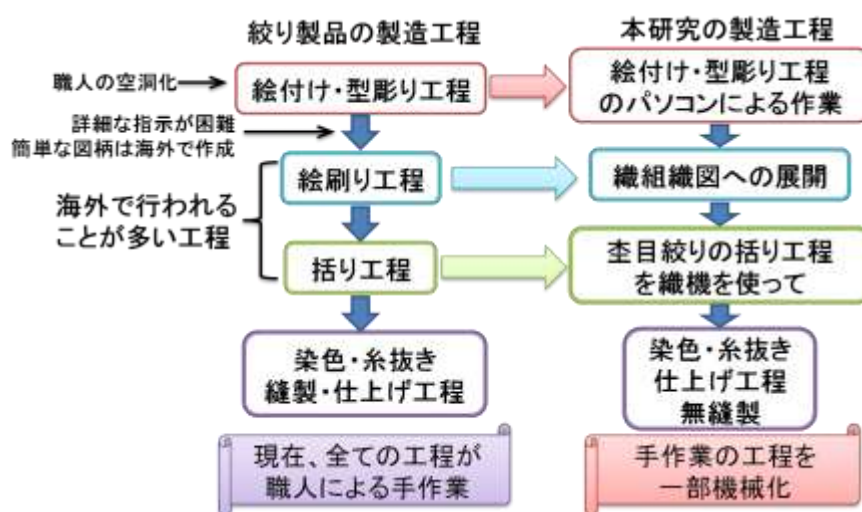


図5-22. 従来の絞り製品の製造工程と括り糸を織り込んだ絞りの製造工程

5. 5. 結言

本章では絞り染めについての次の2つのシステムを開発した.

- ① 絞りの凹凸形状を利用した3次元形状に沿う布帛の設計システムの開発
- ② 杣目絞りの括り糸を織り込むための織組織図設計ソフトウェアの開発

①について, 絞りの凹凸形状を利用した3次元形状に沿う布帛の設計システムでは, CADデータを元に, 布帛を3次元形状に絞り加工する型紙を作製した. 型紙を用いて括り工程を行った後, 熱セットすることで凹凸形状をセットした試作品を作製した. 試作品は算出したシミュレーション3Dモデルと類似した形状になることを確認し, CADの3次元形状に沿う布帛として加工できることがわかった.

さらにCADデータが無い場合でも, 絞り技法を用いて布帛を3次元形状に沿うよう設計するため, 対象とする立体構造物に対し, 力覚提示装置を用いて座標の取得を行い, 設計を行えるシステムについて検討した. 3点の座標をソフトウェアに取り込み設定することにより, 布帛の浮いている部分について杣目絞りを施すシステムを開発した. 現在座標の取り込みとシミュレーションが別のソフトウェアであることと座標が数値であるため, 今後座標の取り込みを自動で行うように修正し, 取り込んだ座標もパソコンの3次元画像としてリアルタイムで表示できるよう, ソフトウェアの修正を行いたい.

②については開発したソフトウェアで設計した杣目絞りの括り糸を織り込む織組織図を用いて, 括り糸を緯糸に織り込んだ織物を試作することができた. これにより杣目絞りの手縫いの工程を機械化することが可能であることがわかった. 試作織物の絞りの形状は, 並縫いのピッチがそろっているため, 手縫いの杣目絞りとは異なるが, 織り込むピッチと配列を変えることで杣目絞りの形状の幅が広がることが考えられる.

第6章 結論

本研究では、ニットおよび絞り染め製品を衣料品以外の分野向けの製品へ展開するための橋渡しとなるような、3次元のモデルを提案し、3次元形状に合わせた設計が可能なテキスタイルCADシステムの開発を目的として行った。

ニット製品についても、絞り製品についても、試作作業に要する工程数は本生産とほとんど同程度であり、テキスタイルデザイナーのイメージに合った製品を得るまでの時間とコストは、企業にとって大きな負担となっている。ニット製品、絞り製品のできあがり形状や柄のイメージを、瞬時に表示できるテキスタイルCADシステムを開発することで、テキスタイルデザイナーのイメージに合った製品を得るまでの時間とコストを低減できると考えられる。

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、サンプル作製の手間を省き、製品開発の効率化を図ることが可能になる。また、無縫製横編機を使った立体成型編において、アパレル製品については編機メーカーのニットCADシステムにあらかじめ型紙のデータベースも豊富で設計は容易になっているが、データベースに型紙の無い形状の設計は難しく、CADデータに合わせた製品づくりは、編機メーカーのニットCADシステムも対応していない。

絞り製品の設計工程にあたる【絵付け】工程をCAD化や【型彫り】工程のCAM化でシステム化することにより、工程の簡略化以外にも工程の保存が可能となるため、【絵付け・型彫り】工程の技術を持たない者でも絞り製品の企画設計が可能となる。一方で絞り技法は染め模様だけでなく、布帛を3次元的な凹凸形状にセットすることができる技法であり、『絞り加工』を利用して、用途に合わせた3次元的な凹凸感のある布帛を設計することで『インテリア製品』『伸縮性とゆとりによる動きやすさを持つ機能性衣服』など、絞りの独特な特性を生かした新たな製品展開も期待できる。

そこで本研究では、ニットおよび絞りの繊維製品について3次元モデル化、3次元形状に合わせた設計を行うCADシステムを開発する目的で行った。

第2章では、よこ編組織のループ形状のモデル化についてのアルゴリズムを検討し、編地の3次元形状シミュレーションモデルを生成するCADシステムを開発した。よこ編組織のループを3次元形状でモデル化するアルゴリズムに基づいて、編地シミュレーションモデルを生成するソフトウェアを開発することができた。

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した。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、その一つ一つの座標の移動を計算するには時間がかかる。そこで、各組織のループを描画する前に、基準点を設定することで、速やかに変化組織を含む編地のモデル化を行うアルゴリズムについて検討した。

基本ループの形状のモデル化には組織基準点と糸中心基準点を設定し、平編組織のモデル化を行うことができた。

基本ループの形状のモデル化には組織基準点と糸中心基準点を設定し、平編組織のモデル化を行うことができた。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 Peirce[11], Leaf[12] 等のニットの幾何学理論をもとに、基本ループの組織基準点の移動と糸中心基準点の数を変えることで、ゴム編組織、パール編組織、ウェルト組織、タック組織、移し目組織を含む編地のモデル化を行うことも可能であった。編目を 3 次元のシミュレーションモデルとすることで、編目構造の確認がしやすいソフトウェアを開発した。

第 3 章では、立体成型編の編組織図を設計するためのアルゴリズムを検討し、編組織図の設計ができるニット製品のための CAD システムを開発した。

次の 3 つのアルゴリズムについて検討し、ニット製品の 3 次元形状モデルを算出することが可能となった。

- ① 筒形状の編地のモデル化に関するアルゴリズム
- ② CAD データを元に立体成型編を行った時の編地のモデル化に関するアルゴリズム
- ③ CAD データと型紙から立体成型編のモデル化に関するアルゴリズム

①～③のアルゴリズムに基づいて編地のシミュレーションモデルを生成するソフトウェアを開発することができた。

①については、組織基準点を円筒状に定めることによって、ウェルト組織、タック組織、移し目組織を含む編地を筒形状のシミュレーションモデルとして提示するソフトウェアを開発した。

②については、半球形状、サポーター形状について検討した。半球形状の CAD データから、半球形状に立体成型編をした編地のシミュレーションモデルを生成するソフトウェア

アを開発した。サポーター形状については、脚の各部位の計測したサイズを元に立体成型編した編地のシミュレーションモデルを生成した。

③については、心臓サポートネットの形状をモデル化するために心臓の CAD データと型紙データから編み上がりのネットの形状、ループの形状についてシミュレーションモデルを生成した。

以上の内容で、編地の 3 次元シミュレーションモデルを生成する CAD システムを開発できた。

さらに CAD データ、測定したサイズから立体成型編の編組織図を設計する CAD システムを、次の 2 項目で検討し開発した。

- ① CAD データから立体成型編の組織図の設計
- ② 計測した脚のサイズから立体成型編の組織図の設計

編地のシミュレーションモデルを生成するとき算出した数値を応用して、CAD データおよび計測した脚のサイズから、立体成型編するための編組織図の設計を行った。

①については、半球形状の CAD データから編組織図を作成できたが、無縫製編機で編成するためにはさらなるアルゴリズムの修正が必要であった。また同じ糸でもサイズが違う編地を編成する場合、編目密度（編地の幅と高さ）が変動した。設計するときの編目密度の設定値と、実際編んだ編地の編目密度の差でサイズや形状の誤差が大きくなるので注意点となることがわかった。

②についてはサポーターの形状を、筒形状を基本として計測した脚のサイズを元に、脚形状に適合するように、その円周の差から減らし目を算出し設計した。実用の編機に適用する場合、編地が左右対称になるよう編組織を設計する必要がある。この制約条件に適合するよう、編成時に表裏が同じになるよう編組織を 2 分割し、左右対称となるように減らし目の半分を配置し、無縫製編機で立体成型編を行うことができる組織図として作成した。

さらにニット製品には効果的な着圧を必要とするものがある。ニット製品を装着したときの着圧の予測と、想定する着圧となるように立体成型編の編組織図を設計する CAE システムを次の 2 項目について検討し開発した。

- ① 想定する着圧となるようなサポーターの設計についてのアルゴリズム
- ② 心臓サポートネットを装着したときの着圧の予測と拡張・収縮の変形による着圧の

変化

サポーター形状について、想定した着圧のかかる状態で立体成型編ができるよう、編地の引張特性から着圧を予測し、設計に反映するアルゴリズムについて検討を行った。着圧を考慮し、編組織図を設計する CAD システムを開発することができた。ただ、曲率半径が変わると着圧予測値も変わるため、今後曲率半径を反映させたシステムに修正する必要がある。

心臓サポートネットを装着した時の着圧分布モデルと心臓の拡張・収縮による変形に伴う着圧の変化のモデルを生成することができた。こちらも曲率半径の違いを反映したアルゴリズムとなるよう、システムの修正が必要である。

第4章では、絞り染めの【絵付け・型彫り】工程の代替となる CAD/CAM システムの開発を行った。

【絵付け】工程は、元絵の電子化・画像処理、杓目絞り・蜘蛛絞り・折り縫い絞りの自動割り付けを行うソフトウェアを開発した。割り付けた括りの位置を印す「型紙」(PNG image)、元絵に対し括りの位置の割り付けを確認するための「割り付け画像」(Bitmap image)、絞り染めをした後の柄の「イメージ画像」(Bitmap image)としてそれぞれ保存することとした。

【型彫り】工程は、【絵付け】工程のソフトウェアで括りの位置を印した「型紙」(PNG image)データを元に、カッティングプロッタを用いて PET フィルムに括りの位置の穴を開けて型紙を作製する CAM システムを構築した。

開発した【絵付け・型彫り】工程の CAD/CAM システムを使用することで、元絵画像から自動で絞りの括りの位置を印す型紙を作製することができた。CAD/CAM システムで作製した型紙で試作品を作製し、シミュレーションイメージと試作品は類似しており、出来上がりのイメージを確認してから製品の作製ができることがわかった。

開発した【絵付け・型彫り】工程の CAD/CAM システムで型紙を作製することによって、数日間かかっていた【絵付け・型彫り】工程が数時間に短縮できることを確認した。また工程の簡略化以外にも、【絵付け・型彫り】工程の CAD/CAM システムができたことにより、各工程における作業結果がデータとして保存可能となるため、【絵付け・型彫り】工程の技術を持たない者でも絞り製品の企画設計が可能となる。絞り製品の企画設計が誰にでも行えるようになれば、これまで『絞り』とは直接関連のなかった用途へ新製品の提案がしやすくなると考えられる。

第5章では、絞り染めについての次の2つのシステムを開発した。

- ① 絞りの凹凸形状を利用した3次元形状に沿う布帛の設計システムの開発
- ② 杣目絞りの括り糸を織り込むための織組織図設計ソフトウェアの開発

①について、絞りの凹凸形状を利用した3次元形状に沿う布帛の設計試作システムでは、CAD データを元に、布帛を3次元形状に絞り加工する型紙を作製した。型紙を用いて括り工程を行った後、熱セットすることで凹凸形状をセットした試作品を作製した。試作品は算出したシミュレーション3Dモデルと類似した形状になることを確認し、CADの3次元形状に沿う布帛として加工できることがわかった。

さらにCADデータが無い場合でも、絞り技法を用いて布帛を3次元形状に沿うよう設計するため、対象とする立体構造物に対し、力覚提示装置を用いて座標の取得を行い、設計を行えるシステムについて検討した。3点の座標をソフトウェアに取り込み設定することにより、布帛の浮いている部分について杣目絞りを施すシステムを開発した。現在座標の取り込みとシミュレーションが別のソフトウェアであることと座標が数値であるため、今後座標の取り込みを自動で行うように修正し、取り込んだ座標もパソコンの3次元画像としてリアルタイムで表示できるような方向で、ソフトウェアの発展が望まれる。

②については開発したソフトウェアで設計した杣目絞りの括り糸を織り込む織組織図を用いて、括り糸を緯糸に織り込んだ織物を試作することができた。これにより杣目絞りの手縫いの工程を機械化することが可能であることがわかった。試作織物の絞りの形状は、並縫いのピッチがそろっているため、手縫いの杣目絞りとは異なるが、織り込むピッチと配列を変えることで杣目絞りの形状の応用範囲が広がることが考えられる。

以上のとおり、ニット製品や絞り製品といった伸縮性に富むテキスタイル製品について3次元形状のモデル化を行い、製品の出来上がりイメージの確認と設計を行うことができるCADシステムを開発した。開発したCADシステムを実用化することにより、試作作業に要する工程数を低減できると考えられる。今後テキスタイル製品の製造現場に普及させていくステップにおいて、操作性の向上、ニットにおいてはより複雑な形状のCADデータへの対応、絞り製品については括りの位置の微調整などの課題が解決されていけば、本システムの応用範囲が広がり、さらなる発展が期待できる。

参考文献

1. 安田仁彦, CAD と CAE (初版第 1 刷) , コロナ社(1997)
2. 池口達治 *et al*, 日本繊維機械学会誌, **57**, 1, 55-60 107-112, (2004)
3. 太田幸一 *et al*, 日本繊維機械学会誌, **57**, 8, 53-60 81-88, (2004)
4. 伊藤英三郎, 現代ニット教本 (第 2 版) , チャネラー(1985)
5. 平成 15 年度繊維機械における技術革新と今後の方向性に関する調査研究報告書, 社団法人日本機械工業連合会, 社団法人日本繊維機械学会(2004)
6. 榎原あさ子, 日本伝統絞りの技 (初版第 1 刷) , 紫紅社(1999)
7. CELEBRATING 400 YEARS OF JAPANESE ARTISAN DESIGN, ARIMATSU・NARUMI SHIBORI
「World of TAKUMI」 DVD (2008)
8. K.Takeda, Japan society of Home Economics, **61**, 2, 177-178 , (2009)
9. K.Noritika, Japan Patent, JP3150946 (2001)
10. K.Noritika, Japan Patent, JP2001-089907
11. F.T.Peirce , Text Res J, **17**, 123-148, (1947)
12. G.A.V.Leaf, A.Glaskin, J.Text.Inst. , **46**, T587, (1955)
13. 日本繊維機械学会基礎繊維工学編集委員会編, 基礎繊維工学[Ⅲ] 第 2 篇 編物,
151-184, 日本繊維機械学会 (1967)
14. A.Kurbak, O.Ekmen, Text Res J. , **78**, 198-208, (2008)
15. A.Kurbak, O.Kayacan, Text Res J. , **78**, 279-288, (2008)
16. A.Kurbak, A.S.Soydan, Text Res J. , **78**, 377-38, (2008)
17. O.Kayacan, A.Kurbak, Text Res J. , **78**, 659-663, (2008)
18. A.Kurbak, O.Kayacan, Text Res J. , **78**, 577-582, (2008)
19. 若松栄史 *et al*, 繊維機械学会誌月刊せんい, **62**, 10, 623-628, (2009)

20. K. Saijo, H. Wakamatsu *et al*, Proceedings of the 62nd Annual Conference of TMSJ, 36-37 (2009)
21. 若松栄史 *et al*, 繊維機械学会誌月刊せんい, **67**, 3, 183-187, (2014)
22. 若松栄史 *et al*, 繊維機械学会誌月刊せんい, **67**, 1, 29-33, (2014)
23. N. Suzuki, Japan Patent, JP2005-120501
24. S. Morimoto, Japan Patent, JP2009-145959
25. T. Furukawa, Japan Patent, JP2007-293636
26. T. Uchida *et al*, Proceedings of the 8th Asian Textile Conference, Tehran, Iran, CD-ROM (2005)
27. T. Uchida, M. Okamura, Sen' i Gakkaishi, **63**, 9, 90-94, (2007)
28. T. Uchida, M. Okamura, Sen' i Gakkaishi, **65**, 2, 41-47, (2009)
29. I. Kawazoe *et al*, IPSJ SIG Technical Report, 2014-CVIM-191(6), 1-8 (2014)
30. I. Kawazoe *et al*, IPSJ SIG Technical Report, 2014-CG-154(18), 1-7 (2014)
31. K. Nishibori *et al*, Japan Patent, JP2011-190550
32. K. Nishibori *et al*, Proceedings of the 2011 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 1A1-D07, 1-3(2011)
33. K. Nishibori *et al*, Proceedings of the 2010 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 1A2-A24, 1-2 (2010)
34. 藤井尚子, 日比科学技術振興財団『生活環境向上のための研究報告書』 vol. 14. 121-132 (2012)
35. 秋田利明 *et al*, 繊維機械学会誌月刊せんい, **67**, 5, 309-314, (2014)
36. 飯塚健治 *et al*, これからの自動車とテキスタイル-現状と開発動向-, 177-189, 繊維社(2004)

37. 安田篤司, 福田ゆか, 太田幸一, 佐々木敏哉, 佐々木哲哉, 撚糸による炭素繊維の保護方法の開発, 愛知県産業技術研究所研究報告書, **9**, 96-99, (2010)
38. 茶谷悦司, 福田ゆか, 池口達治, 編物を基材とした炭素繊維強化熱可塑性プラスチックの調製, あいち産業科学技術総合センター研究報告書, **1**, 90-93, (2012)
39. 田中利幸, ニットの編成テクニックを活用した CFRP 用基材の開発, あいち産業科学技術総合センター研究報告書, **3**, 88-91, (2014)
40. 丹羽雅子 *et al*, アパレル科学 美しく快適な被服を科学する (初版第1刷), 朝倉書店 (1997)

謝辞

本研究を進めるに際し、終始ご指導ご鞭撻を頂きました金沢大学教授 喜成年泰先生に厚くお礼申し上げます。

金沢大学教授 山田良穂先生、金沢大学教授 立矢宏先生、金沢大学教授 浅川直紀先生、金沢大学准教授 下川智嗣先生には、ご多忙にもかかわらず論文の査読および審査において、適切なご指導と有益なご助言を頂きましたこと心より感謝いたします。

サポーター等の評価手法についてご助言を頂きました、金沢大学助教 若子倫菜先生に感謝いたします。

あいち産業科学技術総合センター尾張繊維技術センターの職員の皆様には、学業と職務を両立させるために多大なご協力を頂き感謝いたします。共同研究者としてご協力頂きました同センター元主任研究員 太田幸一氏、安田篤司主任研究員、茶谷悦司主任研究員、田中利幸主任、山内宏城主任、絞りの織物作製について豊富な知識を伝授くださいました元主任研究員 柴田善孝氏、元素材開発室長 池口達治氏に心より感謝いたします。

様々なご助言を頂きました、あいち産業科学技術総合センター 山本昌治所長はじめ職員の皆様、愛知県産業労働部産業科学技術課の皆様に感謝いたします。

ニット設計の豊富な知識の伝授と試作にご協力頂きました、(株)トレステック 佐々木敏哉氏、佐々木哲哉氏に心より感謝いたします。

ニット基材のCFRPの活用と成型についてご協力頂きました、和光技研工業(株)研究開発部の坂崎克秋氏、堀公子氏に心より感謝いたします。

絞り染めについての基礎知識から絞り染め産業における課題の伝授と試作における括り加工についてご協力いただきました、(有)近清商店 近藤典親氏はじめ社員の皆様に心より感謝いたします。

最後に、ニットを心臓サポートネットというメディカル製品への活用するという新たな課題への取り組みの場を与えていただきました、金沢医科大学教授 秋田利明先生はじめ心臓サポートネット開発の研究チームの皆様に心より感謝いたします。