

信州大学審査学位論文

立体裁断の仮想化手法に関する研究  
—幾何学的マッピングと布モデル操作—

A study of virtual draping method  
- A geometric mapping and a cloth model manipulation -

2018年 3月

召田 優子

# 目次

第1章 緒言.....	1
1.1 衣服サイズと身体と消費者意識.....	2
1.2 実際の立体裁断.....	5
1.3 仮想立体裁断.....	7
1.3.1 関連研究.....	7
1.4 目的.....	10
1.5 論文の構成.....	11
第2章 マッピングによる仮想立体裁断.....	13
2.1 はじめに.....	14
2.2 マッピングによる仮想立体裁断方法.....	15
2.2.1 モデル.....	16
2.2.2 各手順内容.....	19
2.2.2.1 ダーツのための切れ込みの作成.....	20
2.2.2.2 マッピング.....	22
2.2.2.3 型紙の作成.....	26
I. 輪郭の抽出.....	27
II. 平面の型紙の取得.....	28
2.3 現実の衣服の作成.....	29
2.4 衣服のシミュレーション.....	30
2.5 結果と考察.....	33
2.6 まとめ.....	38
第3章 手の動きによる布モデル操作.....	39
3.1 はじめに.....	40
3.2 方法.....	42
3.2.1 操作環境及びインターフェース.....	42
3.2.1.1 操作環境.....	42
3.2.1.2 インターフェース.....	44
3.2.2 モデル.....	45
3.2.2.1 布モデル.....	45
3.2.2.2 力学計算.....	47
3.2.2.3 物体モデル.....	48
3.2.2.4 衝突.....	48
3.2.3 操作.....	50
3.2.3.1 移動操作.....	51

3.2.3.2 つまむ操作 .....	51
3.2.3.3 放す操作 .....	51
3.2.3.4 留める操作 .....	52
3.2.3.5 裁断操作 .....	52
I. 手の座標の取得 .....	53
II. 切り取り線の取得 .....	53
III. 裁断 .....	54
3.2.3.6 マッピング操作 .....	56
3.2.3.7 組み合わせ操作 .....	56
3.3 結果と考察 .....	58
3.4 まとめ .....	73
第4章 結言 .....	74
謝辞 .....	77
参考文献 .....	78

# 第 1 章 緒言

## 1.1 衣服サイズと身体と消費者意識

体型に合った衣服は健康や着心地そして外見の観点からみても非常に重要な要素を担っている。というのも、衣服と身体間に存在する微量な空間（衣服のゆとり）は保温や放熱、衣服圧、動きやすさに大きな影響を与えるからである[1]。例えば、衣服にゆとりがない場合は衣服が身体を圧迫し、その状態が続くと内臓の位置のずれ[2]や発汗箇所の偏り[3]といったことが起こり身体に影響が生じる。また、身体と衣服の空気層は保温や放熱に大きな影響を与えるため適度なゆとりは衣服内環境の快適さにつながる。さらに、衣服は人々の行動に追随して変形しなければならないが、ゆとりのない衣服は動作による変形をゆとりが吸収しきれず布の物性によってカバーしなければならないため、動きづらい衣服となってしまう[1]。逆にゆとりがありすぎても、余分な布が邪魔をして動きづらくさせてしまうことは容易に想像がつく。このように、適当な衣服と身体間の空隙は身体保護と着心地に通じていることが分かる。そして適当なゆとりを得るためには体型に合った衣服を着用する必要がある。

一方、消費者の意識でも、時代の流れとともにフィット性は重要な要素の一つとなっている。戦後まもなくは、物不足により衣服は着ることができるとは丈夫といったことが重視されていた。しかし、高度成長期では生活の質が向上し、さらに大量生産・大量消費により簡単に衣服を調達することができるようになり安価で多種多様な衣服が登場し始め、耐久性などよりもファッション性を重視するようになった。その後、快適性や個性を求めるようになり高くても着心地のいい衣服や外観のよい素材などが重視されるようになってきた[4]。ここで、前述したように着心地に大きくかわるものがフィット性である。そのため、消費者は購入するときにフィット性を推し量る指標であるサイズを重要視していると考えられる。実際、購入した衣料に満足している点を、女子大学生聞いたところ多かった理由項目上位8位以内に「サイズがちょうど良かった」という項目が挙げられていた[4]。また、衣服の使用実態調査24年度の調査結果によると購入時に重視する点について、「自分の趣味・感覚に合っている」、「着てよく似合う」そして「価格が手頃」について「衣料のサイズが身体にフィットする」の回答が多い結果が得られている[5]。現在、ファストファッションの流行により安価で流行の衣服を気軽に購入でき、さらには1シーズンで衣服を廃棄するといった衣生活を送るようになってきているため、流行やデザインそして値段のみを重要視していると思われがちであるが、それでもやはり消費者はサイズや着心地も重要視していることが伺える。これらのことから消費者を満足させる衣服作りにはやはりフィット性が重要であることが導き出せる。

しかし、個々の体型にぴったりあった衣服を見つけることは難しい。既製服では予め

サイズや形状が決まっているため、個々の体型に最も適合する衣服を選び購入しているにもかかわらずやはり体型に合っていないと考える消費者は少なくない。一般的な体型の範囲外の消費者は特にそのように思っているということは想像に難くない。諸岡晴美らの若者と高齢者を対象に行った衣服購入の動機と既製服サイズの問題点に関する調査[6]によると、既製品のサイズでは、上着丈や袖丈、ズボン丈、スカート丈が合わないと回答している高齢者が多く、高齢者の女性においてはウエストが狭いと答えた人の割合が多かった。この調査では高齢者以外にも若い女性についてもサイズが合っていないと感じる部位があるようである。このように既製服の中から体型に合った衣服を探すのは限界があるといえる。

体型に合った衣服の型紙を作成する方法に立体裁断という方法がある。立体裁断では、衣服を構成するいくつかの長方形の布を変形させながら人台の表面形状に沿って張付け衣服形状を作成する。その後、衣服形状を構成している各布から型紙を得る。つまり、一般的な体型の寸法を元に平面の紙に型紙を直接描くのではなく、人台の形状に合わせて衣服を直接作成して、できた衣服を展開して型紙を得るのである。この方法を用いれば個人の身体的特徴を考慮した衣服作りが可能であると考えられる。しかし、この立体裁断にはコストや時間がかかるという欠点がある。そのため、立体裁断は個々の体型にあった衣服を作成することは可能であるが、これらのデメリットのためその衣服を気軽に販売・購入することは難しいといえる。

仮想空間上で立体裁断を行うことにより実際の立体裁断の欠点を解決することができる。そのため、仮想立体裁断の研究が多く行われている。例えば、布や物体を仮想空間上でモデル化することによりコストを削減することができる。また、様々な布の物性を仮想空間上で再現することで、布の特性による衣服形状の変化等をシミュレーションすることができる。リドウ・アンドゥ機能や衣服作成のためのサポート機能を備えることができれば、作成時間の短縮にもつながる。このように仮想立体裁断では様々な工夫を施すことにより効率よく体型に合った衣服を作成できる。

特に、実際の立体裁断のように布モデルから型紙を作成する仮想立体裁断は重要なアプローチであると考えられる。実際の立体裁断において布から衣服を形成していく過程は、衣服のデザインやフィット性、型紙の形状を決める重要な過程であり、多くの重要な作業を含んでいる。したがって、この過程や手順に注目し、立体裁断を仮想化することも重要であると考えられる。このような仮想立体裁断には以下のような利点がある。従来の仮想立体裁断では、直接衣服形状を作成し、それを展開して型紙を得ているため、布の物性などにより現実世界では実現不可能な形でも型紙が作成できてしまうことがあった。しかし、布モデルから衣服形状を作成することができれば、この問題を解決することができる。また、布レベルで衣服を作成することができるため、布モデルの重なりや布目線、模様も考慮することができる。立体裁断で行われている一連の流れを基に型紙を作成しているため、各過程での布モデルの変化もシミュレーションできると考え

られる。

上記のような実際の立体裁断を模倣し布モデルから型紙を作成する方法を実現するためには、立体裁断の再現方法を工夫する必要がある。実際の立体裁断では、衣服形状を作成する際に多くの手順や注意点が存在する。そのため、全ての要素を仮想空間上で再現する場合、時間がかかり効率が悪い。一方で、効率を優先し再現する際に作業を省略または簡略化しすぎると、実際の立体裁断に近い形で仮想立体裁断を行うことができない。立体裁断の各要素の機能や役割を損なわず、特長を活かすように、各要素に応じて再現方法を変えることができれば、効率的で直感的な操作が可能な仮想立体裁断を実現することができると考えられる。

具体的には、計算処理とリアルタイム操作を組み合わせることで、効率化と直感的な操作を実現する。最初の張り付けや型紙の取得などの正確性が必要な作業では、最終形状が重要であり工程は効率化したほうが良い。一方、衣服形状を作成する際は、試行錯誤を繰り返しながら作業を進めていくため、布モデルが変形する過程も重要となってくる。また、思い描いた通りに布モデルを変形させるためには、操作性も重要となってくる。前者の場合は、幾何学的な計算により形を瞬時に取得する方が効率が良く、理にかなっている。後者の場合は、布モデルの変化をリアルタイムで再現し、かつ直感的に操作できるシステムが必要となってくる。

## 1.2 実際の立体裁断

本研究では実際の立体裁断の手順や作業に注目して仮想立体裁断を行っているため、実際の立体裁断がどのような手順で行われているかという点は重要な要素となる。この節では、本研究のキーワードとなる“実際の立体裁断”について基本的な手順を中心に簡単に紹介する。

立体裁断とは衣服の型紙を作成する方法の一つであり、一般的な体型の寸法を元に平面の紙に型紙を直接描くのではなく、布を人台に直接張り付け、変形させることにより衣服形状の一部を作成し、その布から型紙を得る。同様の作業を繰り返しそれぞれの布を組み合わせることで一着の衣服となるように衣服の他のパーツも形成し、衣服の型紙を得る。

立体裁断の手順は、衣服のデザインによって様々であるが、基本的な手順は共通しており1) 人台に布を張り付ける、2) 布を変形させて衣服形状を形成する、3) 衣服形状を展開し、型紙の線を引き、型紙を得る、となっている[7]。以下に各過程について詳しく説明する。

1) 布を人台に張り付ける。

まず準備段階として、衣服のデザインに従って人台に中心線など基準線となる場所にテープで印付けする。このテーピングする場所は衣服のデザインによって異なる。次に型紙の各パーツに対応する人台の場所を測り、その寸法に従って大まかに各パーツの布を裁断する。そして、人台に布を張り数箇所ピンで留め人台に布を固定させる。この時、テーピングした線に布目線を正しく合わせて張り付ける。ピンで留める箇所は中心線など基準となる線が多い。その後、布目に沿って布を撫でて人台の形状に布をなじませ、軽くピンを打つ。この時、布が大きすぎた場合、余分な部分を裁断する。

2) ダーツや衣服のパーツなどを作り衣服の形を作成していく。

衣服のデザインに従って適当な箇所の布をつまみピンで留めダーツを作る。ダーツとは、平面の布を立体的な形となるようにつまんだ部分またはその技法のことである。後にダーツ部分を縫い消すことで立体的な衣服となる。ダーツを作成する際にも、ダーツ周辺の布を撫でて人台の形状に沿わせる。曲面においては人台に布に沿わせようとすると布が浮いてしまう。浮いた部分が人台に沿うように布を撫でて余分な部分をダーツや布の端に移動させ、ダーツの量や位置を調節する。浮いた部分を布の端に移動させた場合は、布の端が少し移動する。この部分もダーツとなり、型紙の形状に影響を与える。ダーツ以外の部分も同様に布をつまみピンで留め衣服形状の細かい形を形成していく。衣服形状を作成していく際に、衣服のゆとりも考慮に入れながら、布をピンで留めていく。適宜布の一部を裁断することもある。

3) 衣服形状を展開し、型紙の線を引き、型紙を得る。

衣服形状が完成したら、人台に衣服形状を装着させた状態で、型紙に必要な線（例え



ばダーツや脇線, 中心線など) の場所に大まかに印を付ける. その後, 布の各パーツを人台から取り外す. ピンによる拘束を外し, 布を広げ平面に戻す. 大まかに印付けした線を専用の定規等を用いて滑らかにつなぎ合わせて型紙を完成させる.

このように立体裁断では人台の形状に合わせて布を変形させ, 微量調整も適宜可能であるため, 体型に合った衣服を作成することが可能である. また, 平面に衣服の完成形状を想像しながら型紙を作成する方法に比べて, デザイナのイメージに近い衣服を作成することができる. しかし, この立体裁断にはコストや時間がかかるという欠点がある. そのため, 立体裁断の衣服を気軽に販売・購入することは難しいといえる.

## 1.3 仮想立体裁断

仮想空間上で立体裁断を行う仮想立体裁断では、立体裁断の欠点を解決することができる。例えば、コスト削減や時間短縮が可能だけでなく、様々な布の物性を反映させることで衣服形状の変化等をシミュレーションすることができる。このように、立体裁断を仮想化することにより欠点を解消し様々なメリットを付与することができるため、様々な工夫を施した仮想立体裁断に関する研究が多くなされている。

### 1.3.1 関連研究

仮想空間上で体型に合った衣服の型紙を作成する研究は多く行われている。個々の体型の特徴を考慮した人台を用いた仮想立体裁断や、衣服形状の作成や型紙への展開を効率よく行う研究、直感的な操作を用いた仮想立体裁断など様々な視点から仮想立体裁断の研究が行われている。

Cho et al.や柿沼らの研究では、個々の体型特徴を反映した人台モデルを用いて仮想立体裁断を行った。個人の体型にあった衣服の型紙を得るためには、個人の体型情報を付加した人台モデルが必要である。しかし、個人の体型に合わせた人台モデルを一から作成することは時間がかかり非常に効率が悪い。そこで Cho et al.や柿沼らの研究では、装着者の体型を効率よく人台モデルに反映させるシステムを用いることによりその問題を補い装着者の体型に合った衣服の型紙を作成している[8,9]。Choらの研究では、基本形となる人台モデルを元に、人台モデルのバスト、ウエストそしてヒップの周長を個々の体型に応じて変形させ、その部位周辺の周長を比率により変形させることで装着者の体型を模した人台モデルを効率よく作成している[8]。また、平面のS字曲線も変形することができ、これにより様々な姿勢を再現することができる。人台モデル作成後、人台モデルを元に衣服の3次元形状を作成し、その3次元形状に裁断線を入れ、展開することで型紙を得る。個人の体型だけでなく姿勢までも考慮に入れた人台モデルを用いることで装着状況に応じた衣服作りが可能である。一方、柿沼らは、高齢者の体型に注目し、個々の高齢者の体型に対応した人台モデルを用いて衣服の型紙を作成した[9]。高齢者の体型の再現方法において、まず3次元計測した女性高齢者の体型を、統計処理を行っていくつかのパターンに分け、それぞれの人台モデルを作成した。これらのパターンから装着者の体型に最も似ている人台モデルを選択し、人台モデルのいくつかの部位において実際に装着者の体型の計測データを入力することで個々の体型的な特徴を人台モデルに反映させる。これにより装着者の体型に対応した人台モデルを作成することができる。その後、衣服のデザイン情報やゆとり量を人台モデルに反映させ、展開することで衣服の型紙を得ている。

ところで、立体裁断ではテーラーの知識や経験、感覚によりダーツの位置や量、ゆとりなど様々な重要な要素が決められる。さらに、平面である布から立体である衣服形状

を作成して行く過程は熟練者のテクニックだけでなく時間や手間も多く要する。多くの研究において仮想化によりこれらのテクニックに変わるシステムの開発や型紙作成の効率化が行われている。Choらは布目線や布のせん断特性を考慮して個人体型にあった型紙を作成するための方法を提案した[10]。仮想空間上に現実世界の人台の形を取り込むことにより、現実世界の人台にフィットした衣服の型紙の作成を行っている。この方法では、取得した人台周辺に布格子を作成し、それを人台モデルの曲面に合うように最大せん断角の範囲内で変形させ衣服形状を作成した。その後、作成した衣服を裁断し型紙を作成した。また、Wangらは、異なる性質を持った2つの曲線を用いてインタラクティブに衣服をデザインする方法を提案した[11]。曲線のうち一つは衣服形状を作る曲線、もう一つはダーツや布目線などを作る曲線である。まず人台周辺に曲線を作成しそれを変形させることにより衣服形状を作成する。そして、作成した衣服にダーツなどを加え、その衣服から平面の型紙を得た。Huangらが提案した2Dブロックパターンの作成方法では、スキャンした3D人台モデルに基づいてワイヤーフレームを作成または変形させることにより衣服の型紙を求めている[12]。まず、ワイヤーフレームを人台モデルの特徴点を基に作成し、そのフレームを変形することにより人台に衣服形状を作成する。その後、作成した衣服形状から型紙を求める。この方法は、服のゆとりも考慮しており、ゆとりを含んだ衣服の型紙を作成することができる。一方、様々な企業においても衣服の型紙作成ソフトウェアの開発が行われている。2次元での型紙作成や3次元着装シミュレーションによる型紙修正などが可能である。特にデジタルファッション株式会社のDressingSim LSXは、他の企業で開発されている従来のソフトウェアとは異なり、3次元仮想空間上で人台の周りに直接衣服形状を作成し、その3次元衣服形状から2次元の型紙を得ることができる。このように、様々な工夫によりユーザのイメージした衣服形状をより容易に形作り、その形状から型紙を取得する方法が多く提案されている。

仮想立体裁断では、実際の立体裁断とは異なり、2次元画面上の映像を元に操作している。そのため、位置や距離感覚や操作に混乱が生じることもある。スムーズに仮想立体裁断を行うためにより直感的に操作しやすい工夫をしている研究がある。Wibowoらは現実世界の3次元入力による衣服の型紙をデザインするためのインターフェースを開発した[13]。この方法では、現実世界において等身大の特殊なマネキンの表面または周辺を特殊な道具でなぞりイメージを描画すると、その情報が仮想空間上に反映され衣服モデルを作成または編集することができる。これにより仮想空間上で衣服形状を作成し、その衣服形状から型紙を作成することができる。この研究では、実際に作成した型紙から衣服を作成することに成功している。しかし、これらの仮想立体裁断では人台モデルから衣服モデルを作成しているため実際には作成できない型紙ができることがある。

一方、これらの仮想立体裁断は別に、実際の立体裁断の方法を仮想空間上で再現する

ことにより型紙を作成している研究がある[14]. Inらは、仮想空間上に人台モデルを用意し、そのモデルに長方形の布モデルを張り付け、変形することにより衣服形状を作成した. 長方形の布モデルは裁断やピンの機能を用いてリアルタイムで変形される. そして作成された衣服形状から型紙が作成される. この方法は、上記で紹介した仮想立体裁断のアプローチとは異なり、実際の立体裁断の手順を模倣し型紙を作成する点が特徴である.

紹介した多くの仮想立体裁断の中でも特に本研究で注目しているアプローチは、実際の立体裁断のように布モデルから型紙を作成するアプローチである. 実際の立体裁断において布から衣服を形成していく過程は、衣服のデザインやフィット性、型紙の形状を決める重要な過程であり、多くの重要な作業を含んでいる. したがって、この過程や手順、作業に注目し、立体裁断を仮想化することも重要であると考えられる.

このような仮想立体裁断には以下のような利点がある. 従来の仮想立体裁断では、直接衣服形状を作成し、それを展開して型紙を得ているため、布の物性などにより現実世界では実現不可能な形でも型紙が作成できてしまうことがあった. しかし、布モデルから衣服形状を作成することができれば、この問題を解決することができる. また、布レベルで衣服を作成することができるため、布モデルの重なりや布目線的作用を考慮することや模様の出方を再現できる. 立体裁断で行われている一連の流れを基に型紙を作成しているため、各過程での布モデルの変化もシミュレーションできると考えられる.

一方で、布モデルから衣服モデルを作成するため手間や時間がかかるという問題が生じると考えられる. また、デザイナーの衣服イメージを仮想空間上で形成するために布モデルの操作性が優れている必要がある. 従来の仮想立体裁断で主に用いられているマウスなどの2次元入力デバイスでは操作性の向上に限界があると考えられる.

## 1.4 目的

本研究では、実際の立体裁断の手順および作業を元に布モデルから効率よく直感的に衣服形状を形成するシステムを用いた仮想立体裁断の実現を目指す。考案した仮想立体裁断の全体構想を図 1-1 に示す。この仮想立体裁断は太線の四角であるデバイス、型紙製作、パターンの確認などの要素により構成されている。これらの各要素に線で接続されている項目が要素の内容である。例えば、型紙作成は大きく分けてモデルと作成過程に分類される。この作成過程は図中の作業の流れのように実行され、作業の流れ内の各項目は線で接続されている角の取れた四角の作業に細分化される。これらの作業を仮想化した内容が線で接続されている丸い項目である。本研究では、多くある項目でも色付の項目であるこの仮想立体裁断の要となる技術について基礎開発を行った。

本研究の要となる技術は大きく分けて 2 つある。一つ目は幾何学的手法、二つ目は現実世界の手の動きを用いた布モデル操作である。図 1-1 では幾何学的手法を用いて仮想化している項目を緑で、布モデル操作を用いて仮想化している項目をオレンジで示している。幾何学的手法は正確性や効率化が求められる作業に適応する。例えば、布を人台に張り付ける作業では、張り付けられていく布の変化過程よりも布目を正確に中心線に合わせることが重要となる。この場合、留めるやつまむといった動作や過程を全て再現するのではなく、張り付ける場所に合わせて幾何学的に形を算出し瞬時に張り付けを行う方が正確な上効率もよく、作業の役割を果たすことができる。一方、布モデル操作は逐次的な変化や微調整が必要な場合に用いる。例えば、衣服形状を作成する際は、試行錯誤を繰り返しながら作業を進めていくため、布モデルが変形する過程も重要となる。このような作業の場合、幾何学的に形を瞬時に再現するのではなくリアルタイムで直感的に布モデルを操作する方がデザイナーのイメージに近い形を戸惑うことなく作成することができる。

この 2 つの技術を組み合わせることにより様々なメリットが得られる。幾何学的手法のみでは、布モデルの変化を見ることができないため衣服形状の微調整が難しい。また、どの服にも対応できるわけではなく汎用性に欠ける。他方、布モデル操作では、全ての作業を手の操作だけで行うと効率が悪く時間がかかる。さらに正確性を要する作業は手作業のうえ布や人台などが無い状態で行うのは難しい。本方法ではこの 2 つの方法を個別で用いるのではなく組み合わせることにより、これらの欠点を補い、逆に長所を活かすことで以下のことを実現させることができる。まず、実際の立体裁断の過程や作業の役割の質を担保することができる。1.2 でも述べたように各作業には重要な役割がある。全て同じ手法を使うのではなく、その役割の本質と分析した上で相反する性質を持った手法のうち、その役割を果たすのに適した手法を用いることでより忠実に作業を再現す

ることが可能である。加えて作業時間を短縮し効率よく型紙を作成することが可能である。また、よりリアルな感覚で実際の立体裁断のように布モデルから型紙を作成することができる。

以上より本研究では、最終目標として実際の立体裁断方法を元に布モデルから衣服を作成した後、型紙を取得する方法を構築することを目指し、その要となる2つの技術の基礎を築くことを本研究の目的とする。一つ目はマッピングによる仮想立体裁断方法、二つ目は手の動きによるリアルタイム布モデル操作である。マッピングによる仮想立体裁断方法では、幾何学的に布モデルの張り付け形状を取得し、実際に布モデルから簡単な衣服モデルを作成できるか、そして型紙を取得できるか検証した。二つ目の手の動きによる布モデル操作では、日常の手の動きを利用して布モデルを操作することは可能であるか、いくつかの基本的な操作を実装して検証を行った。

これらの方法は、仮想立体裁断以外にも多くの分野に応用が可能と考えられる。例えば、衣服内環境のシミュレーションやギブスやサポータの作成、ネットショッピング販促支援に応用できると考えられる。インターフェースや衣服シミュレーションの技術向上に貢献することができる。

## 1.5 論文の構成

本論文は、1.4の目的に記した2つの方法を述べた章を中心に、全4章からなる。本論文の構成は以下の通りである。本章である第1章において本研究の立ち位置や目的を示し、さらに本研究において重要なキーワードとなる実際の立体裁断について説明した。続く第2章と第3章では、今回行った研究について述べた。第2章では、マッピングによる立体裁断の方法とそれにより作成された型紙の検証を行った。さらに型紙から作成した実際の衣服と完成形状のシミュレーションについて比較考察した。そして第3章では、リアルタイム仮想立体裁断のための布モデル操作について方法の説明をした後、操作結果と考察について述べた。第4章で、本研究の結果や考察を統括し、本論文のまとめを行った。

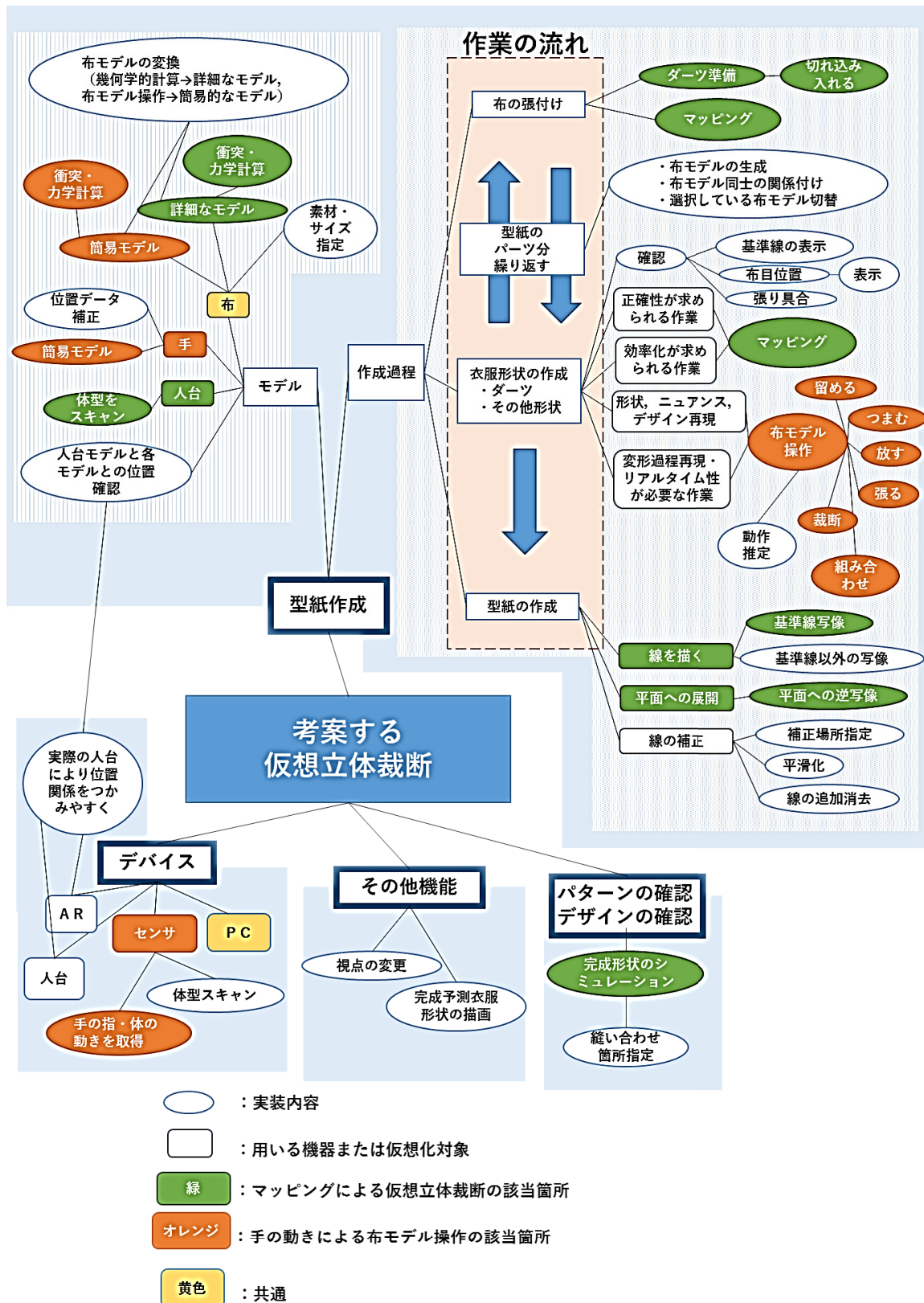


図 1-1：考案する仮想立体裁断の全体構想

# 第2章

## マッピングによる仮想立 体裁断



## 2.1 はじめに

最終目標である仮想立体裁断は、幾何学的手法とリアルタイム布モデル操作で構成されている。このうち、幾何学的手法により仮想化する作業は正確性や効率化が望まれる作業であり、例えば、張り付け作業や型紙作成作業がある。特に張り付け作業は第一章で述べたとおり正確性が求められる上に布モデル操作では時間がかかるため幾何学的手法による仮想化が適している。この張り付け作業仮想化に必要な幾何学的手法には、①布目線を基準線に合わせて人台に張付ける②効率がよいという 2 つの要素が求められる。しかし、これらの条件を満たした幾何学的手法を用いた仮想化方法は極めて少ない。

従来の研究では人台モデルの形状を元に直接衣服モデルを作成する仮想立体裁断が多かった。これらの研究の多くでは布目を合わせる作業は省略されているが、Cho らは人台モデルに布目線を設定することにより布目を合わせる作業を仮想化している[10]。しかし、この方法は布モデルを人台モデルに張付けて変形させて衣服モデルを作成するという過程は省略されている。In らの研究は、実際の立体裁断の手順を模倣し布モデルを人台に張付ける作業を仮想化している[14]。しかし、In らの方法はピンなどのインタラクティブな操作のみを用いて張り付け作業を行っているため、時間と手間がかかり非効率である。一方、幾何学的に効率よく張り付け作業を行っている研究もある。Meng らのインタラクティブな衣服の型紙の編集方法では、衣服の型紙を人台モデルに張り付けることにより衣服形状を再現した[15]。その後、得られた立体的な衣服形状と型紙をインタラクティブに編集した。しかし、Meng らの方法は布モデルから型紙を作成する方法ではなく既に得られている型紙を編集する方法であるため、長方形の布モデルから衣服モデルを作成し型紙を作成していない。

ところで考案した仮想立体裁断を実現させるためには、実際の立体裁断の大まかな流れを基礎とした本方法の実現性についても検証する必要がある。今回は張り付け作業と同様に正確性が必要な衣服形状から型紙を得る作業も幾何学的手法により再現する。張り付け作業と型紙取得の作業を仮想化することができれば、シンプルな衣服に限られてしまうが、考案した仮想立体裁断のように布モデルから衣服形状を作成した後、型紙を得る流れを再現することができる。布モデル操作においても衣服形状から型紙を取得するシステムが構築することができれば考案した仮想立体裁断システムの検証が可能となるが、布モデル操作を用いて一から衣服形状を作成するには時間がかかってしまう。そのため、この 2 つの幾何学的手法を用いて考案した仮想立体裁断方法の基礎を築くとともに実現性についても検証するほうが合理的である。

そこで本章では、効率よく張り付け作業を行うための幾何学的手法（マッピング）を中心に提案するとともにこの方法を用いて実際に布モデルから衣服モデルを作成して型紙を作成し、検証することを目的とする。実際の立体裁断の手順や作業を参考に布モデルから衣

服モデルを作成した後型紙を取得する方法を実現するための技術の一つである幾何学的手法の構築を行った。

本章では、実際の立体裁断の手順を考慮したマッピングによる仮想立体裁断の方法を述べた後、この方法を用いて型紙を作成した結果について述べる。さらにその型紙から実際に衣服も作成し検証を行った。仮想空間上で得られた型紙を用いて衣服の完成形状をシミュレーションし、実際に作成した衣服と比較検証も行った。

## 2.2 マッピングによる仮想立体裁断方法

本研究では、布モデルから、マッピングを用いて衣服形状を作成し、型紙を得る。衣服の型紙は衣服のデザインによって作成方法が異なるが、基本的な手順は同じである。まず、人台の中心線などの基準線に合わせて布を張り付け、その後、布を変形させて衣服形状を形成する。そして、衣服形状を形成している布に型紙の輪郭となる印をつけて型紙を作成する。本研究では、この手順を仮想化することにより型紙を得る。最初の張り付け作業では、マッピングを用いて効率化を図る。衣服のダーツは布モデルの一部を切ることで対応した。最後に、作成した衣服形状から型紙の輪郭を算出して型紙を得る。これにより、実際の立体裁断の手順に沿った仮想立体裁断を行う。

## 2.2.1 モデル

実際の立体裁断の手順を仮想化する際に、仮想空間上に布モデルと人台モデルを用意する必要がある。本節では各モデルについて説明をする。

### ・布モデル

布モデルは連続体モデルであり、計算を数値的に実行するために三角要素分割を行う。布の力学特性を表すために便宜上三角要素に分割されている。各三角要素の変形に伴い生じる力と外力を基に力学計算を行うことで布の立体形状が予測される。布モデルに布の特性を与えることによって力学計算に布の特性を反映させることができる。

### ・力学計算

仮想立体裁断では型紙を得るために衣服を構成する複数の布モデルを変形させ衣服形状を作成していく。その際、布モデルを現実の立体裁断のように人台表面形状に沿わせるために変形する必要がある。本研究では布の自然な変形を再現するために、力学計算を行い布モデルの安定形状を求めた [16]。

布モデルの安定状態とは、布モデル全体のエネルギーが境界条件の下で最小となっている状態である。その時に布モデルの形状が実際の布の形状となる。各三角要素には、布モデルの変形に伴う力と外力がかかっている。これらの力を合計し、その総力から節点の変位を求め、最小エネルギー状態を探す。三角要素にかかる力は、内力である引張、せん断そして曲げの力と外力である重力が加わっている。内力は各三角要素の変形から求め、パラメータとして引張り強さ、せん断剛性、曲げ剛性、ねじれ剛性が与えられている。本研究では、これらの力の他に布モデルを抑えるための微弱な圧力もかける。これは、実際の立体裁断では布を人台に張り付ける際、布を撫でて人台に沿わせ張り付けたため、これを考慮し一定の弱い圧力をかけた。各節点を移動させる時、ヒップライン、前後中心線そして脇線上の節点は固定された状態となっている。

### ・物体モデル

本研究では、仮想空間上に布モデル以外の人台モデルを用意した。人台モデルは、変化しないため、力学計算や衝突の計算を行わない。この人台モデルも節点でできている。この人台モデルは実際の人台の形を三次元立体形状計測装置 (VOXELAN, LPW-2000FW) でスキャンすることにより得た。この人台は、図 2-1 のように複数の断面から構成されており、各断面の円周上に節点を設定した。各節点は、人台モデルの前中心線の位置と各節点からなる断面の中心角度 $\theta$ が $2n\pi/265(n = 0,1, \dots, 255)$ となるように $0 \leq \theta \leq 2\pi$ の範囲で $2\pi/265$ 刻みで配置してある。各節点において、断面の中心から断面の周囲にある節点までの距離も算出してあり、人台モデルは各断面の高さとその断面における各中

心から節点までの距離で構成されている。人台モデルには予め中心線、脇線、ウエストラインそしてヒップラインが定義されている。

#### ・衝突

布モデルを人台モデルに張り付け衣服形状を作成する際、布モデルと人台モデルは必ず衝突する。このときの相互作用も定義する必要がある。定義しない場合、布モデルが人台モデルをすり抜けてしまう。本研究では、布モデルと人台モデルの節点の位置により衝突を判定し、節点を移動させることで衝突反応を行った。

衝突の計算では、まず、布モデルが人台モデルに入り込んでいる部分を探し（衝突判定）、その後、衝突している部分を人台モデルの表面に移動させる（衝突反応）。衝突判定では、まず布モデルの節点に最も近い人台モデルの位置を算出する。この位置は、布モデルの節点に最も近い人台モデルの格子面を求める。この格子面は近隣の4つの人台モデルの節点で構成されている。その後、この格子面の4頂点と布モデルの節点から比例配分により布モデルの節点に最も近い人台モデルの位置を算出する。布モデルの節点が算出された位置よりも人台モデルの断面の中心に近い場合、その節点は人台モデルと衝突していると判定される。衝突していると判定された場合、衝突している布モデルの節点を最も近い人台モデルの表面付近へ移動させる。

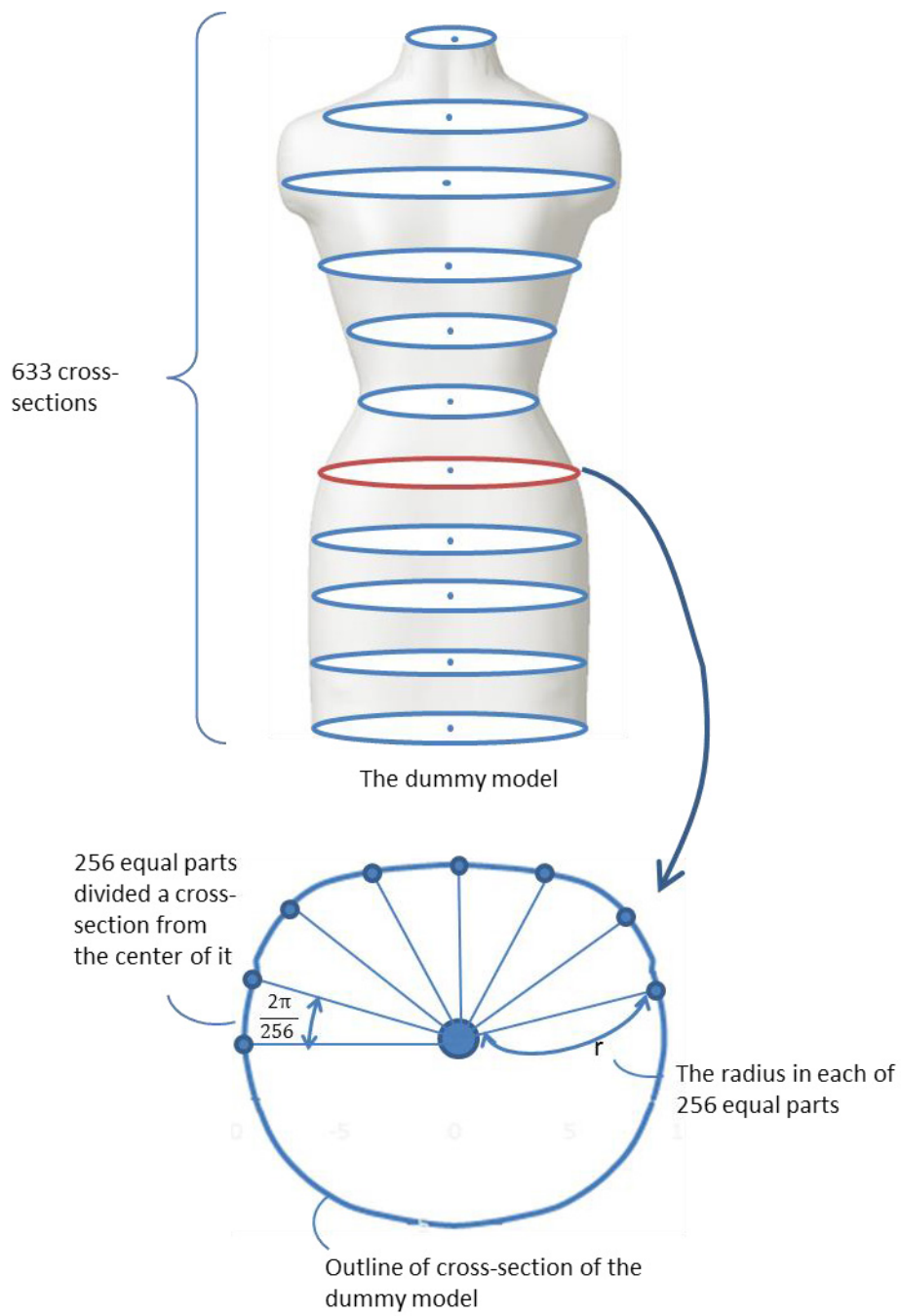


図 2-1 : 人台モデル

## 2.2.2 各手順内容

本研究では、実際の立体裁断の手順をいくつかの段階に分けて仮想化することにより型紙を得た。実際の仮想立体裁断の手順を元に仮想立体裁断を行うには、手順を仮想する必要がある。全ての手順を再現すると効率が悪く複雑になってしまうため、図 2-2 に示すように手順を大まかに分けて仮想化した。型紙の作成手順は以下のとおりである。まず、ダーツを作成するために布モデルに切れ込みを入れる。次に切れ込みを入れた布モデルを人台モデルにマッピングし、その後力学計算を行う。すると人台モデルに沿って 3次元形状に変形した布モデルを取得することができる。最後に型紙を得る。このとき、変形前の平面布モデルと人台モデルの形状に従って変形させた立体布モデルの 2つを用いる。変形した立体布モデルにおいて、人台モデルに予め設定しておいた基準線に従って衣服の型紙の輪郭線を算出する。得られた型紙の輪郭を平面布モデルに逆写像し型紙を得る。型紙を得た後、衣服の完成形状をシミュレーションするため、仮想空間上で平面布モデルを型紙の輪郭線に沿って裁断した。以下では各手順について詳しく説明する。

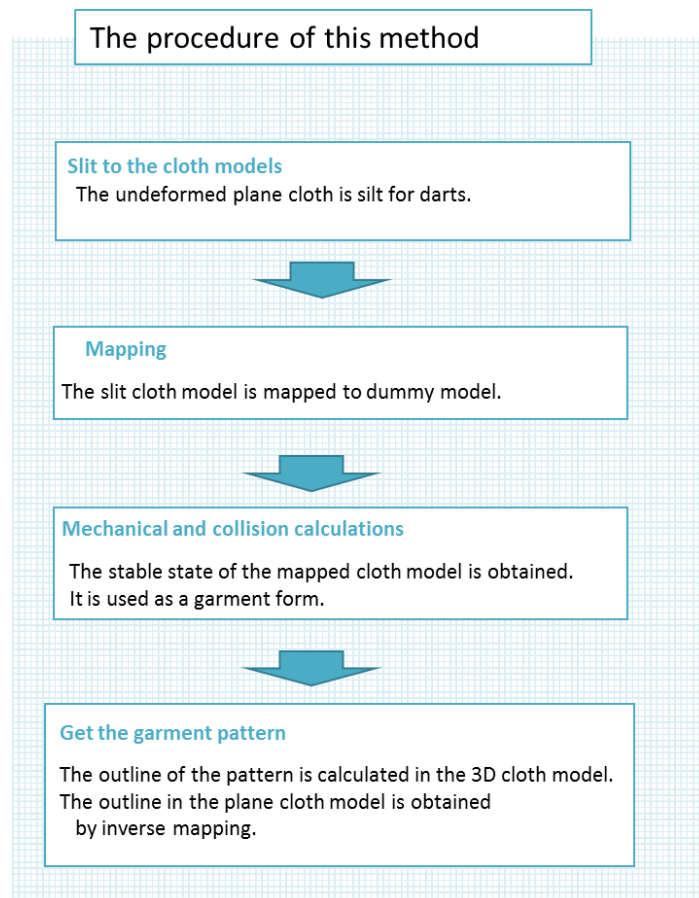


図 2-2 : 本方法における型紙の作成手順

### 2.2.2.1 ダーツのための切れ込みの作成

ダーツを作成するために布モデルに切れ込みを入れる。現実の立体裁断では、布を人台に正確に張り付けた後、衣服形状を作成していく。その際、デザインや人台の形状に従ってダーツをつまみ、布を変形させ人台の形状に沿わせ衣服を形成していく。本研究では、予め切れ込みを入れた平面布モデルを切れ込み部分が重なるように人台にマッピングし、その後力学計算を行う。この形状はダーツをつまんだ後の形状として用いることができ、この重なった部分がダーツとなる。切れ込みは任意の場所に入れることはできず要素の境界部分に沿って入れる。また、切れ込みを入れる位置と深さはあらかじめ決まっている必要があり、これらは試作をいくつか作成し最も適切なダーツとなるように決定する。以下では、ダーツ部分となる布モデルへの切れ込みの入れ方について述べる。

布モデルへ切れ込みを入れる方法は、まず新しく節点を作成し、次いでその節点に一部の三角要素の節点を入れ替えることにより行う。現実の布が裁断される際、裁断箇所では裁断した糸に直角方向の糸間の連結がなくなり布が2つに切り離される。これにより、裁断箇所では新たに2本の境界線が生成されることとなる。仮想空間上でも同様に布モデルに切れ込みを入れる。図2-3のように、切れ込みを入れるためには、新たに境界を生成する必要がある。裁断により生成される境界は、新たに節点を生成することで1本作成し、もう一本は元の節点で境界を作成する。また、布モデルを切り離すには、三角要素の連結を切る必要がある。切り込み線上の節点を共有している三角要素は切り込み線を軸に対に存在しており、節点が動くとその節点を共有している全ての三角要素が変形する。つまり各三角要素は構成している節点を他の三角要素と共有することにより連結を維持している。従って、いくつかの三角要素が共有している節点において、連結を断ちたい三角要素の節点を新しい節点に置き換えることにより切り離すことができる。ところで、本研究では、布モデルに切れ込みを入れるのと同時に、今後の型紙作成のために図2-4のように切り込みの延長線により布モデルをいくつかの領域に分けて各節点が属している領域を記憶しておく。布モデルが重なっている場合、いくつかの節点や三角要素が同じ位置に存在している可能性があるが、この領域により、布モデルが重なっている場合でも各節点そして三角要素がどの領域に存在するのか把握することができる。

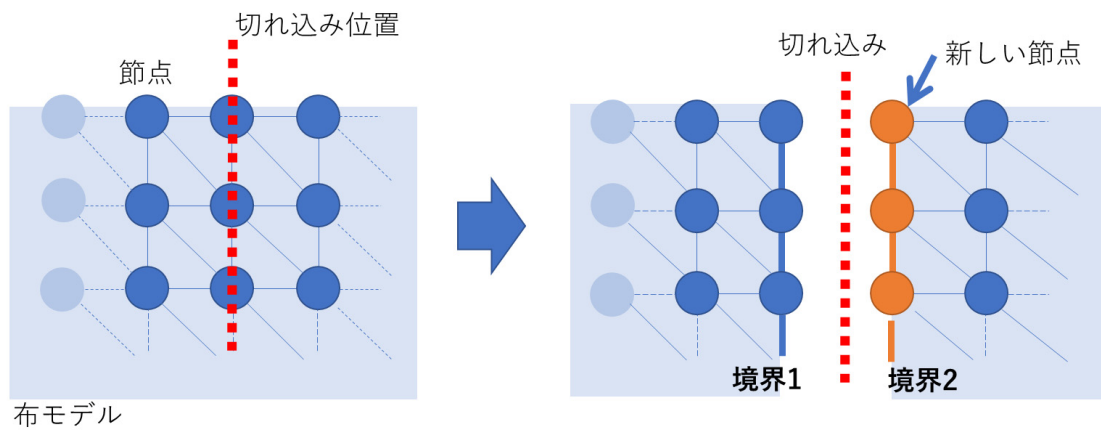


図 2-3 : 布モデルへの切れ込み

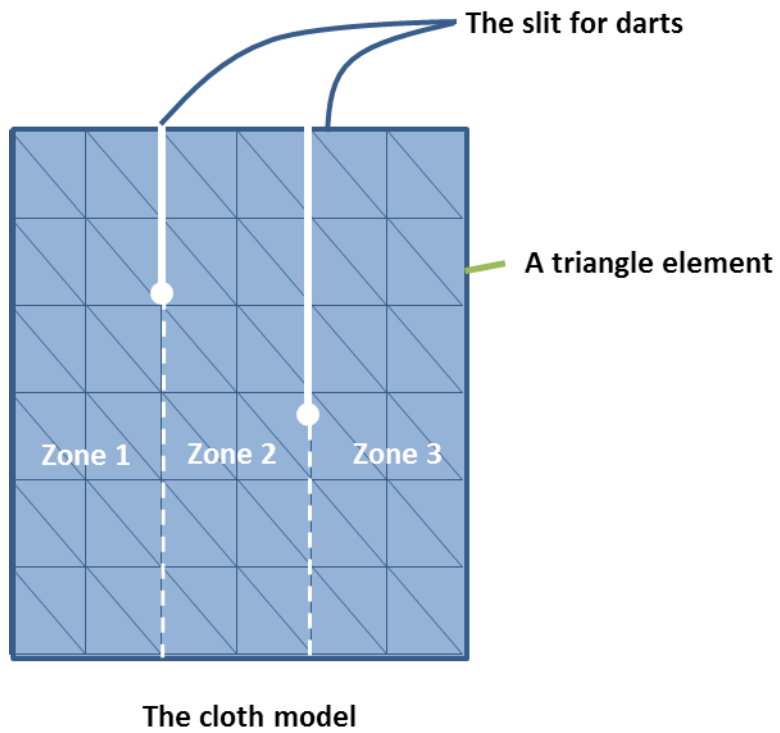


図 2-4 : 切れ込みにより分割された領域



### 2.2.2.2 マッピング

実際の立体裁断では、人台に布を張り付け、その後布を撫でて人台の形に沿わす。張り付けの際は、人台に印づけられた中心線や脇線などに布目を正しく合わせて張り付ける必要がある。本研究では、この作業を幾何学的なマッピングと力学・衝突の計算により再現する。マッピングは、張り付け操作を正確にかつ効率よく行うために用いられる。平面の布モデルを人台モデルに張り付ける際、布モデルの広範囲を移動または変形しなければならない。しかし、布モデルは多くの節点により構成されているため、一つ一つの節点において張り付け作業を行うのは効率が悪い。そこで、マッピングにより、布モデルが張り付けられるおおよその位置に節点を一齐に移動させることを考えた。布モデルの節点の移動先を中心線などのあらかじめ定められた線を基準に算出し、その位置に節点を移動させる。このマッピングは2つのタイプがあり、一般的なマッピングとダーツ用のマッピングがある。一般的なマッピングでは、節点の移動位置を2段階に分けて算出し、まず布モデルの特定の節点に対応する人台モデルの高さ方向の位置を算出し、その後人台モデルの周囲方向の位置の算出する(図 2-5-図 2-7)。ダーツ用のマッピングは一般的なマッピングとほとんど同様の方法で行う。一般的なマッピングと異なる点は、マッピング開始位置だけである(図 2-8)。ダーツ部分では、マッピングする際、人台モデルに沿うように布モデルが変形するため、切り込み部分が重なる必要がある。ダーツ用マッピングでは、布モデルの切り込み部分が重なるようにマッピング開始位置を調節する(図 2-7)。

まず、一般的なマッピングから述べる。最初に節点がマッピングされる高さ方向の位置を算出する。この時、節点がマッピングする位置の上下に存在する人台モデルの断面も算出し、さらにこれらの断面間におけるマッピングされる位置の割合(高さ方向の割合)も同時に求めておく(図 2-5)。これらは、後に人台の周囲方向の位置を算出する際に使用する。節点 $p_i$ がマッピングされる高さ方向の位置 $H_i$ は以下のようにして求められる。

$$H_i = H_{waist} - (h_{max} - h_i) \quad 2-1$$

$H_{waist}$ は人台モデルのウエストの高さ、 $h_{max}$ は布モデルの高さ方向(経糸方向)の幅の長さ、そして $h_i$ は節点 $p_i$ の布モデルにおける高さ(経糸方向)方向の位置である。高さの位置を挟む人台モデルの断面を $S_{j-1}$ と $S_j$ とし、それぞれの断面の高さを $H_{j-1}$ と $H_j$ とすると、高さ方向の割合 $rh$ は

$$rh = \frac{H_i - H_{j-1}}{H_j - H_{j-1}} \quad (H_{j-1} < H_j) \quad 2-2$$

となる。以上の方法によりまずは高さ方向の位置を算出する。

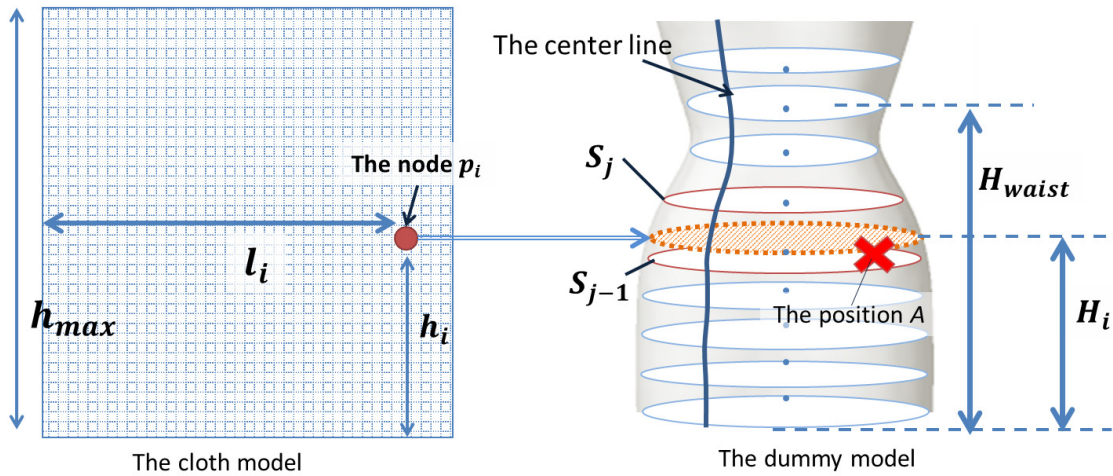


図 2-5 : 高さ方向位置の算出

次に、求めた高さでの人台の周囲方向の位置を求める。この位置は、中心角  $\theta$  と断面の中心とその位置との距離  $r$  で表される。節点  $p_i$  の位置までの布モデルの横方向（緯糸方向）の幅の長さを  $l_i$  とすると、節点  $p_i$  は人台モデルにおいて中心線的位置からの周長が距離  $l_i$  となる位置にマッピングされる。従って、高さ  $H_i$  での人台モデルの周長が  $l_i$  となる位置を算出する必要がある。しかし、高さ  $H_i$  における断面の中心との距離が直接は分からない場合が多い。そのため、上記で求めた断面  $S_{j-1}$  と  $S_j$  を用いて求める（図 2-6）。まず、断面  $S_{j-1}$  において周長が  $l_i$  となる位置を求める。人台モデルの断面には多くの節点が配置されているため各節点間の距離を足し合わせた値を断面の周長として近似することができる。各節点間の距離を人台モデルの前中心線上の節点を含む区間から加算していき、合計した距離が  $l_i$  を上回った時の区間を構成する節点  $P_{k-1}^{j-1}$  と  $P_k^{j-1}$  を求める。この時の  $k$  は、節点の順番を表しており、この場合は中心線上の節点から  $k$  番目の節点を表している。中心線上の節点は 0 番目とする。各節点間の距離を

$L_n$  ( $n = 1, 2, \dots, 255$ ) とすると、節点  $P_{k-1}^{j-1}$  と  $P_k^{j-1}$  は不等式

$$l_i \geq \sum_{n=1}^k L_n \quad (n = 1, 2, \dots, 255) \quad 2-3$$

を最初に満たす区間を算出することにより求めることができる。算出された区間におけるマッピングされる位置  $\mathbf{A}$  の割合  $ru$ （周囲方向の割合）も算出する。各節点間の距離  $L_n$  を節点  $P_{k-1}^{j-1}$  まで合計した値を  $LL_{k-1}$  ( $= \sum_{n=1}^{k-1} L_n$ ) としたとき、周囲方向の割合  $ru$  は

$$ru = \frac{l_i - LL_{k-1}}{L_k} \quad 2-4$$

と表される。人台モデルも多くの断面で構成されているため、隣接している断面の間に存在するマッピングされ位置  $\mathbf{A}$  の中心角  $\theta$  は断面  $S_{j-1}$  の中心角と近似することができる

(図 2-6). 従って, 割合 $ru$ からマッピングされる位置 $\mathbf{A}$ の中心角 $\theta$ を下の式より算出することができる.

$$\theta = \frac{2\pi}{256} \times (k-1) + \frac{2\pi}{256} \times rl \quad 2-6$$

マッピングされる位置 $\mathbf{A}$ の中心との距離 $r$ は, 断面 $S_{j-1}$ と $S_j$ における中心線上の節点から $k-1$ および $k$ 番目の節点と各断面の中心との距離から比例配分を行い求める. 断面 $S_{j-1}$ と $S_j$ の $k-1$ 番目の節点と断面の中心との距離をそれぞれ $r_{k-1}^{j-1}$ と $r_{k-1}^j$ としたとき, 高さ $H_i$ の断面において $k-1$ 番目の節点と中心との距離 $r_{k-1}$ は高さ方向の割合 $rh$ を用いて

$$r_{k-1} = r_{k-1}^j + (r_{k-1}^{j-1} - r_{k-1}^j) \times rh \quad 2-7$$

と表される. 同様に高さ $H_i$ の断面においても $k$ 番目の節点と中心との距離 $r_k$ も算出する. 算出され $r_{k-1}$ と $r_k$ からマッピングされる位置 $\mathbf{A}$ と高さ $H_i$ の断面中心との距離 $r$ は以下の式で算出することができる.

$$r = r_{k-1} + (r_k - r_{k-1}) \times ru \quad 2-8$$

以上から節点 $i$ がマッピングされる位置 $\mathbf{A}$ は, 高さ方向を $z$ 軸とすると

$$\mathbf{A} = (r \cos \theta, r \sin \theta, H_i) \quad 2-9$$

のように表される.

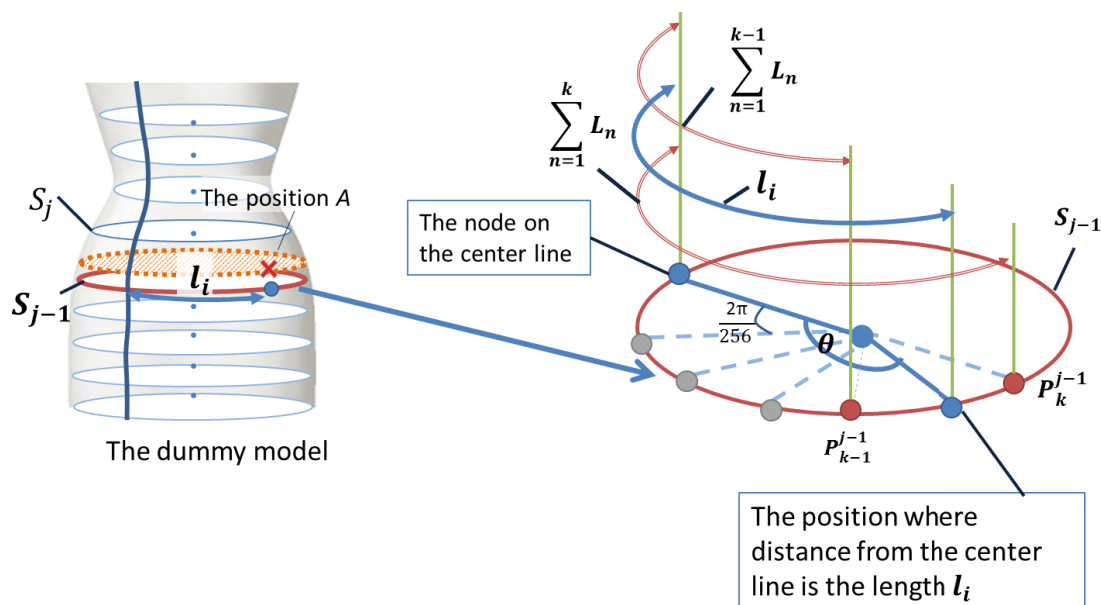


図 2-6 : ある断面における横方向の位置の算出

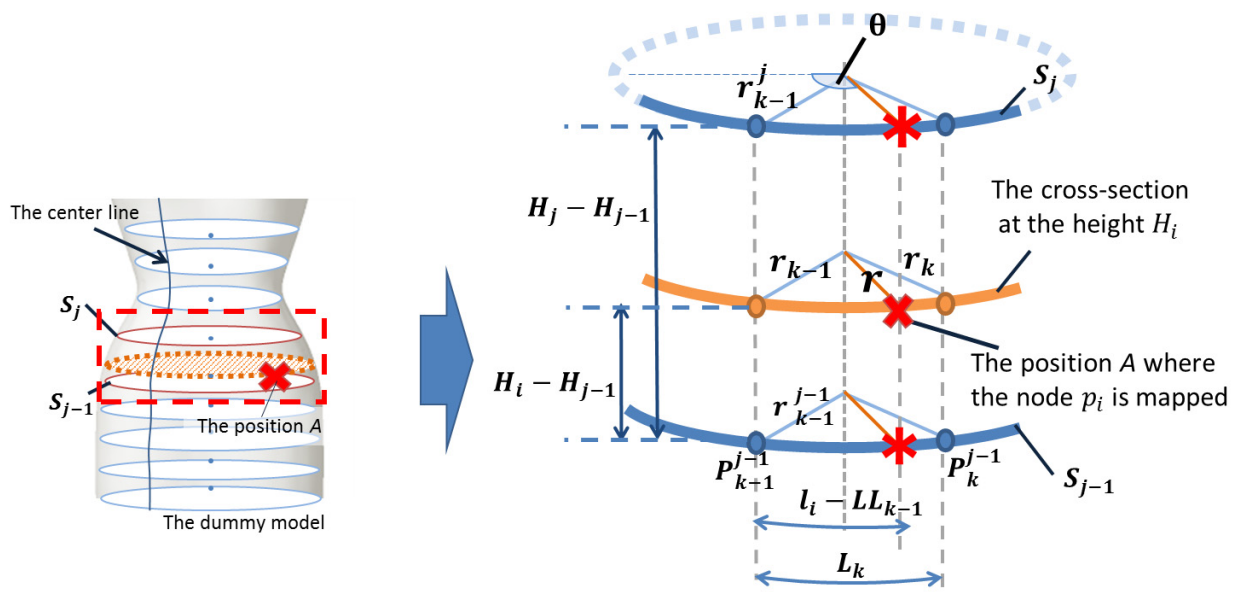


図 2-7： 最終マッピング位置の算出

・ダーツ用マッピング

ダーツ用マッピングはダーツ部分に適応される。各ゾーンと切れ込みの長さによりダーツ用マッピングが適応される箇所が決まる。図 2-8 の斜線部分の area1-3 がこのマッピングが適応される箇所であり、切れ込みの長さが長いとこのマッピングが適応される範囲が広がる。一般的なマッピングでは布モデル全体を一度にマッピングするのに対し、ダーツ用マッピングでは各ゾーンごとにマッピングしていく。(最初のゾーンでは、一般的なマッピングと同様に行う。) 隣り合うゾーンにおいて布モデルが重なるように、各ゾーンのマッピング開始位置を算出する。マッピング開始位置は

$$\theta = \theta_e - a(v - v_e) \quad 2-10$$

と求められる。 $\theta$  はマッピングされる箇所での中心角、 $\theta_e$  は切れ込みの終着点での中心角、 $v$  はマッピングする節点の高さ、 $v_e$  は終着点での高さ、 $a$  は予め設定した比例定数である。このようにマッピング開始位置を斜めに傾けることにより隣のゾーンと同じ領域にマッピングすることができる。マッピング後に、2.2.1 の力学計算と衝突計算を行い、安定した立体布モデルを得る。以上のように、予め布モデルを重ねてマッピングすることにより、効率よく人台モデル形状に沿わせることができる。

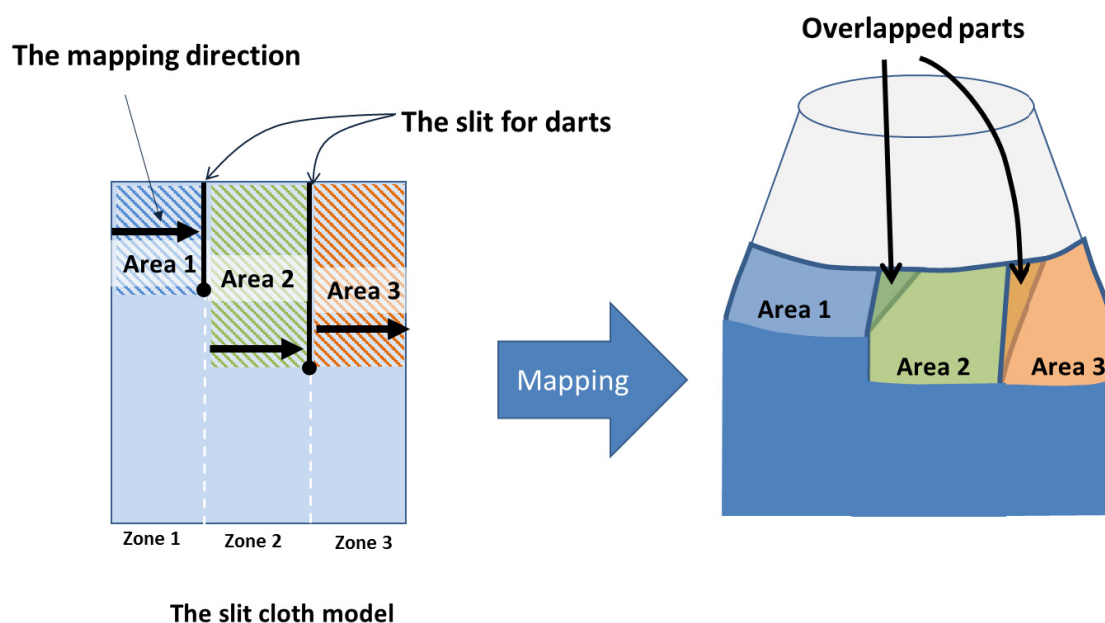


図 2-8 : 切り込み部分のマッピング

### 2.2.2.3 型紙の作成

実際の立体裁断では、人台に布を張り付けた状態で型紙に必要な線を大まかに点線で印を付ける。その後、布を取り外し点線の点をつなげて型紙を作成する。本研究では、人台モデルにおいて中心線やダーツなど予め定められた線の人台モデル形状に変形した三次元布モデルに写像することにより型紙の輪郭を算出する。その後、立体布モデル上で取得した型紙の輪郭を平面布モデルに逆写像することにより、平面の型紙を取得する。以下では、詳しく説明する。

## 1. 輪郭の抽出

まず、得られた立体布モデル上において型紙の輪郭を算出する。立体布モデルは人台モデルの形に沿った衣服形状となっている。このとき布モデルは変形しただけであるため、現段階の布モデルでは衣服として必要な部分と、不要な部分とは区別することができない。この必要な部分と不必要な部分との境界が型紙の輪郭線であるといえる。この輪郭線は垂直または水平な平面で人台を切った時に布モデルと交差する箇所が型紙の輪郭の一部となる。また、ダーツによりつままれた余分な部分を区別する線も型紙の一部となる。一般的には、作成された衣服で、人台に設定されている中心線や脇線等の基準線およびダーツ線を布に写像した箇所となる。本研究も、人台に定められた線を衣服モデルへ写像することにより3次元の型紙の輪郭を得る。以下では型紙の輪郭の取得方法について説明する。

人台モデル上の節点と中心を結ぶベクトルによりその節点に対応する布モデルの節点を算出する(図 2-9)。ダーツ線以外の人台モデルに定められた垂直線と水平線に対応する立体布モデルの位置を算出する。まず、各線が位置する人台モデル上に均等に節点を配置する。それらの節点が存在する断面において断面の中心と節点を結ぶベクトルを作成する。その後、そのベクトルと交差する三角要素を探し、三角要素の番号と交点の座標そして交点の面積座標を取得する。この面積座標は、三角要素の変形に依存することなく位置を算出することができる。これにより、立体布モデルでの各線の位置を平面布モデルに射影したとき、各線が平面布モデルのどこに位置するのか計算できる。いくつかの線上では布モデルが重なっている可能性がある。そのため、断面中心と節点とのベクトルと交差する三角形が2つ存在する。この時、どちらの三角要素との交点を求めるのか決める必要がある。ここで、切れ込みを入れた時に作った領域を用いる。交差する三角要素を求める際、予め定めておいた領域に存在する三角要素との交点を求める。それぞれの位置を、型紙の輪郭線を表す順番にすることができる。

ダーツ上の裁断も他の線と同様に行う。ただし、ダーツ部分は切れ込みにより布モデルが重なった状態となっているため、その点を考慮してダーツ上の布モデルの位置を算出する。また、ダーツ線は人台モデルには定まっていないため、切れ込みの終着点の節点位置から衣服のデザインによってダーツ線を決める。

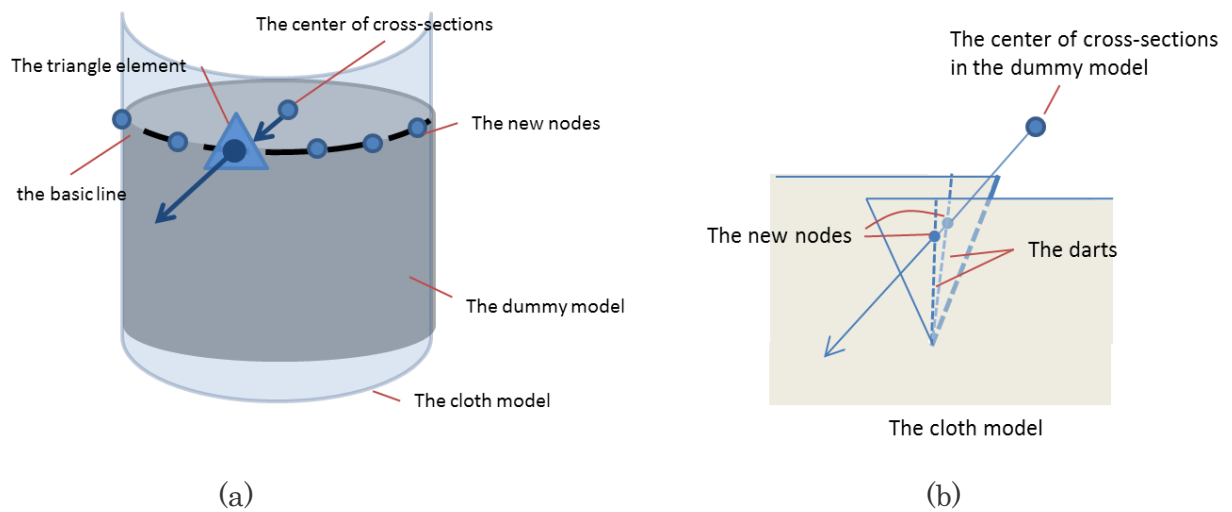


図 2-9：立体衣服形状における型紙の輪郭の算出 (a) The calculation of the outline on the basic line. (b) The calculation of the outline on the darts line

## II. 平面の型紙の取得

上記において立体布モデルに人台モデル上の基準線を写像し、写像した線上の節点位置を取得した。しかし、これは立体布モデル上での位置であり、平面布モデル上での位置ではない。平面状の型紙を取得するため、3次元での型紙の輪郭を2次元に変換する必要がある。

取得した輪郭線の3次元から2次元への変換は面積座標を用いて行う。立体布モデルと平面布モデルでは三角形要素の形状は異なっているため、単純に輪郭線上の節点の座標をそのまま採用することはできない。面積座標は、三角形要素の形状に依存せずに位置を示すことが可能である。そのため、立体での節点の位置と平面での節点の位置とを対応づけることが可能となる。面積座標は三角形要素の各頂点座標から算出することができる。本研究では、立体布モデル上で輪郭線上の各節点における面積座標を取得し、その面積座標を用いて平面布モデル上で対応する輪郭線上の節点位置を求める。これにより、平面での型紙の輪郭を取得する。

## 2.3 現実の衣服の作成

上記の方法で実際に衣服を作成し検証を行った。今回、作成した衣服はタイトスカートである。タイトスカートは比較的簡単な型紙であり、さらに体に密着するスカートであるため人台モデルに布モデルを直接張り型紙を作成する方法の利点を活かせる衣服であると考えタイトスカートを採用した。また、今回作成したタイトスカートはダーツがウエストラインに交差するように入るタイプのスカートであり、ダーツは2本入っている。

型紙の作成にあたり本研究では、通常衣服は左右対称に作るため右側の型紙だけ作成し、左の型紙は得られた右の型紙を反転させることにより得た。そして右側の型紙を作成する際、前と後ろの型紙を分けて作成した。

マッピングにおいては、布モデルの上端をウエストより少し上にマッピングした。また、タイトスカートの型紙を作成するため、人台モデルのヒップより下方へのマッピングは、ヒップ箇所の断面形状を基にしてマッピングを行った。型紙の作成においては、タイトスカートの型紙の輪郭は、中心線、脇線、ウエストライン、裾線上、ダーツ線で構成されているため、これらの線に対応する布モデルの箇所を求めた。

以上の条件により作成されたタイトスカートの型紙を用いて実際にタイトスカートを作成した。まず、実際の人台のサイズに合うように型紙を拡大または縮小する。型紙は右側の型紙が用意されており、左側の型紙は右側の型紙の左右を反転させることにより作成した。得られた型紙から布を裁断し、作成されたパーツを縫い合わせることで衣服を作成した。



## 2.4 衣服のシミュレーション

得られた型紙を用いて仮想空間上で完成形状をシミュレーションし、実際に作成したタイトスカートと比較検証した。得られた型紙を用いて仮想空間上で実際に衣服を作成するように衣服モデルを作成することができたら、その衣服モデルは、実際に作成した衣服と同様の形状を再現できるはずである。シミュレーションにおいては、実際の製作とは異なり、型紙の印刷や拡大縮小の必要がないため、得られた型紙をそのまま使用することができる。また、予め完成形状をシミュレーションすることができれば、修正や編集が作成前に可能である。

シミュレーションを行うためには、型紙の形状の布モデルが必要であるため、まず型紙の輪郭線に基づいて布モデルを裁断するためにメッシュを再構築する必要がある。その手法について説明する。この方法は3つのステップに分かれている。

まず、布モデルの節点が型紙のアウトラインの内側にあるか外側にあるかを判定する。平面の布モデルにおいて型紙の輪郭線を取得した後、型紙から完成形状をシミュレーションするため、平面布モデルを得られた輪郭に沿って裁断する。これにより衣服の型紙を得る。裁断する前に、まず平面布モデルの各節点が輪郭線の内側と外側のどちらに存在しているかを判断する。これは、図 2-10 のように各節点から同じ方向へ半直線を引き、その半直線と輪郭線の交点の個数により判断する。交点が偶数個の場合、その節点は外側に存在し、奇数個の場合その節点は内側に存在する。

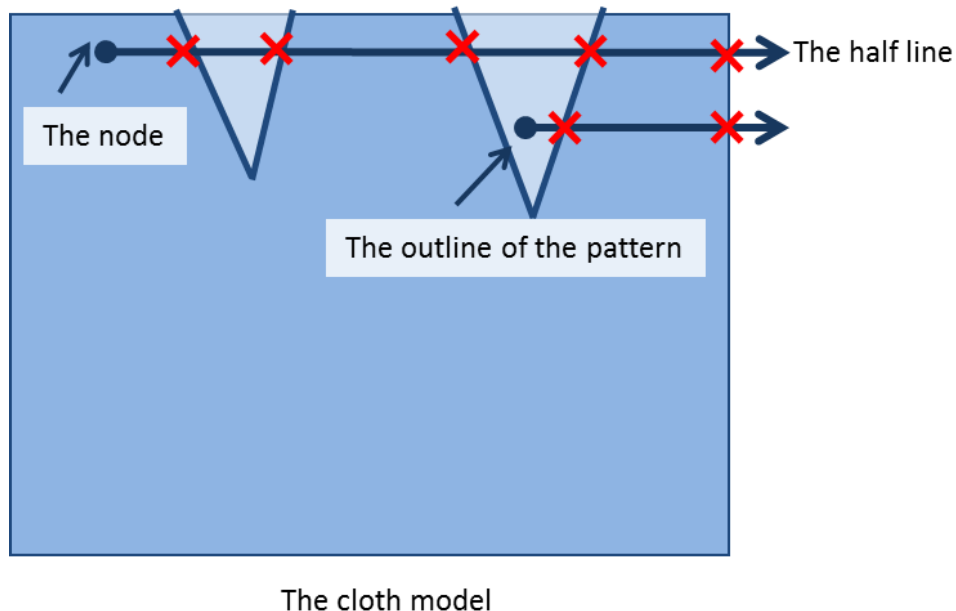


図 2-10 : 節点の判定

次に輪郭線の外側に存在する節点と輪郭線周辺の節点を取り除く。輪郭線周辺の節点において以下の(a), (b)の条件を満たすものは削除される。これは内側の節点でもこれらの条件を満たすものは取り除かれる。なぜなら、裁断後にできる三角要素が小さすぎるまたは細すぎてしまうからである。

(a) 節点とそれに最も近い輪郭線の節点との距離がしきい値よりも小さかった場合その節点を取り除く。

(b) 節点とその節点に最も近い輪郭線の2つの節点それぞれの距離を足した値がしきい値よりも小さい場合その節点を削除する。

一つの条件では取り除くべき節点を見逃してしまう場合があるため2重にチェックしている。

最後に切り取り線と型紙の輪郭線との間に乗じた隙間を三角要素で埋める。上記の作業により平面の布モデルが裁断されたが、輪郭線の内側の節点も除いてしまったため、輪郭線と裁断された布モデルの外周との間には隙間が生じ、得られた型紙はいびつな形状をしている。これを修正するために、得られた型紙の輪郭、つまり外周と本来の型紙の輪郭の間の隙間を三角要素を新たに作るにより埋める。詳しい方法は以下のとおりである。

まず切り出された型紙の外周を抽出する。三角要素の一边が外周の一部を構成している場合、その一边は他の三角要素と共有していない。そのことを利用し、三角要素の1边が他の三角要素の辺と共有していなかった場合、その辺を外周の一部であると判定し、判定された辺の節点を並べることにより外周を求めた。このとき、各節点が属するゾーンの情報も求めておく。

次に求めた裁断された布モデルの外周と型紙の輪郭線の間を三角要素で埋める。この埋める作業は図 2-11 のように (1)輪郭線の節点間を一边とし外周上の一つの節点を頂点とする三角要素を作成 (2)(1)で作成した三角要素間を埋めるように外周の節点間を一边とし輪郭線の一つの節点を頂点とした三角要素を作成、の2つのステップを踏んで行う。

(1)では、輪郭線上の各節点間の区間に最も近い外周上の節点を算出し、それら3つの節点で三角要素を作成する。ダーツ部分では、3つの節点と同じ領域に属しているように、輪郭線上の区間と同じ領域に属しており、さらに区間に最も近い外周上の節点を算出する。(2)では、(1)では、まず作成した隣り合う三角要素において外周上の頂点の間にある節点の個数を三角要素の頂点の個数も含めて取得する。次に、三角要素間に頂点間の節点の個数-1この三角要素を作る。これにより、外周と輪郭線間の隙間が埋められ型紙を作成することができる。

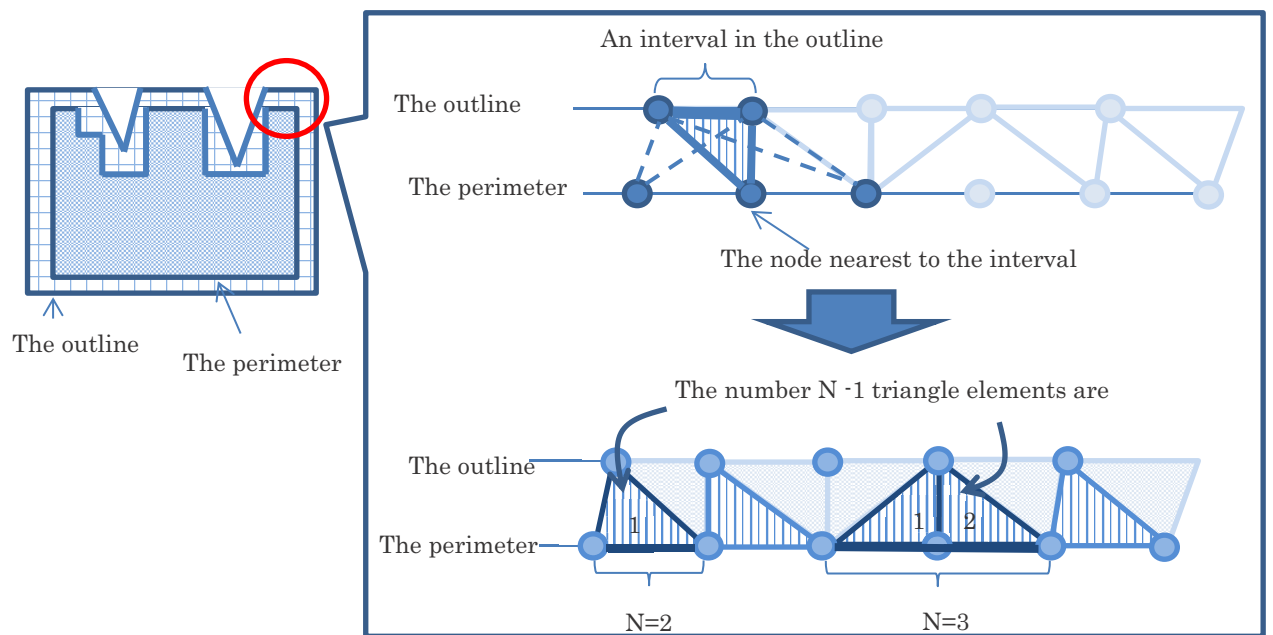


図 2-11 : 輪郭を整える

上記の方法で裁断された型紙を用いて完成形状をシミュレーションする. 左側の型紙は右側の型紙の左右を反転させることにより取得した. シミュレーションは, 実際の衣服作りと同様に衣服のパーツを縫い合わせることにより行う[17,18]. 通常, 縫製の際は縫い代が必要となるが, 仮想空間上では布がほつれるなどの問題がないため, 縫い代はない. 従って, 型紙の一部の輪郭が縫い目線となる. 布モデル同士の縫製は, 縫い目線上のある節点とそれに対応する違う型紙での節点を同一視することで行う. 縫製後に力学計算を行い, 衣服モデルの安定形状を得る. これによりタイトスカートの形状を得る.

## 2.5 結果と考察

本方法で実際に衣服を作成できるか検証するために、本方法を用いてタイトスカートの型紙の作成を行った。布モデルの切れ込みの位置は、ダーツになると予測される箇所に切れ込みを入れた後、実際に型紙を作成する作業を数回繰り返し、最も適当なダーツとなった位置とした。また得られた型紙から実際にタイトスカートを作成し、仮想空間上では完成形状をシミュレーションした。実際にタイトスカートを作成する際に使用した型紙とシミュレーションにおいて使用した型紙を同一のものである。また、シミュレーションに使用した布モデルの物性は一般的な布の物性を採用した。通常の立体裁断では型紙を作る際はシーチングと呼ばれる布を用いるが、商品を作る際は異なる布を用いることが多い。本研究では、商品として完成したタイトスカートをシミュレーションするため、一般的な物性を用いている。また、立体裁断時と商品化した際の布が異なっていることが多いことから、シーチング素材と一般的な布では多少差が生じる可能性はあるが、大きな差は生じないと思われる。このことから、タイトスカートのような単純な衣服で素材が特殊でなければ、シミュレーション方法の有効性を検証することは可能であると考える。以下では結果と考察について述べる。

以上の方法によりタイトスカートの型紙を作成した。作成したタイトスカートの型紙を図 2-12 に示す。図 2-12 から実際の一般的なタイトスカートに類似した型紙を得ることができた。このタイトスカートの型紙は、ヒップからウエストへ行くにつれて徐々に狭くなる形となった。ヒップより下は直線的な輪郭線で構成された形となった。また、切れ込みの箇所が鋭い逆三角形のような形に裁断され、ダーツを形成している。これは、布モデルをマッピングおよび力学計算を行った際にウエストからヒップにかけての曲線に沿って変形し、布モデルの切れ込み部分が重なることで、このような型紙を形成することができたと考えられる。一方で、細かな問題点として、ダーツ先端部分の形と後ろのダーツ量が適切でないことが上げられる。ダーツ量はヒップ位置の半分が理想的である。これは途中で衣服形状の微調整ができないためにこれらの問題が生じたと考えられる。このことについては後で詳しく考察する。しかし、今回のこの誤差は致命的な問題とはならなかった。従って、本方法を用いてタイトスカートの型紙の作成が可能であることを確認することができた。また、この作成方法では、実際の立体裁断と同様の手順を用いて型紙を作成している。このことから、実際の立体裁断の工程を再現することにより型紙を作成することができることが示唆された。

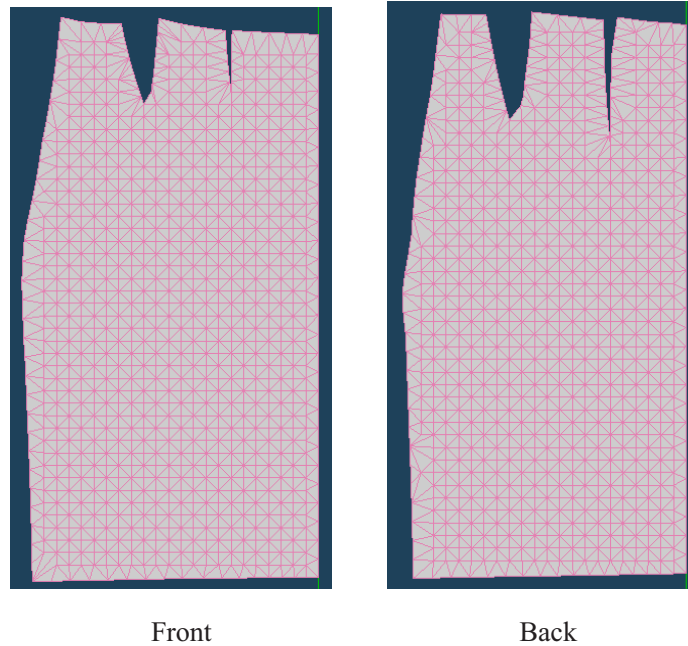


図 2-12 : 得られた型紙

図 2-13 は作成したタイトスカートを示している。図 2-13 より、得られた型紙からタイトスカートを作成することに成功したことが確認できる。作成したタイトスカートは、実際のタイトスカートの特徴を有した形をしている。つまり、スカートの裾は広がっておらず、ヒップの位置から裾にかけてヒップの形状をそのまま下にずらしてきたかのように直線的になっている。そしてダーツによりヒップからウエストにかけて狭くなっておりウエスト部分のカーブに沿って形状になっている。また、作成したタイトスカートを人台に装着させることに成功したことも確認することができた。ウエスト部分に微小な隙間が生じているが、おおよそ人台にフィットしている。これはスキャンした人台モデルの寸法が実際の人台と少し異なっていたため、作成したタイトスカートと人台との間に隙間が生じたと考えられる。ダーツ先端のくぼみは型紙においてダーツの先端がゆがんでいたため、生じたと考えられる。また、ファスナー部分などにおいて寸法に誤差が生じたが、大きな誤差ではなく、作成時や試着時に吸収できるものであった。そのため、タイトスカートの形状に影響はなかった。これらの結果から、型紙から人台に合った衣服を作成することに成功した。

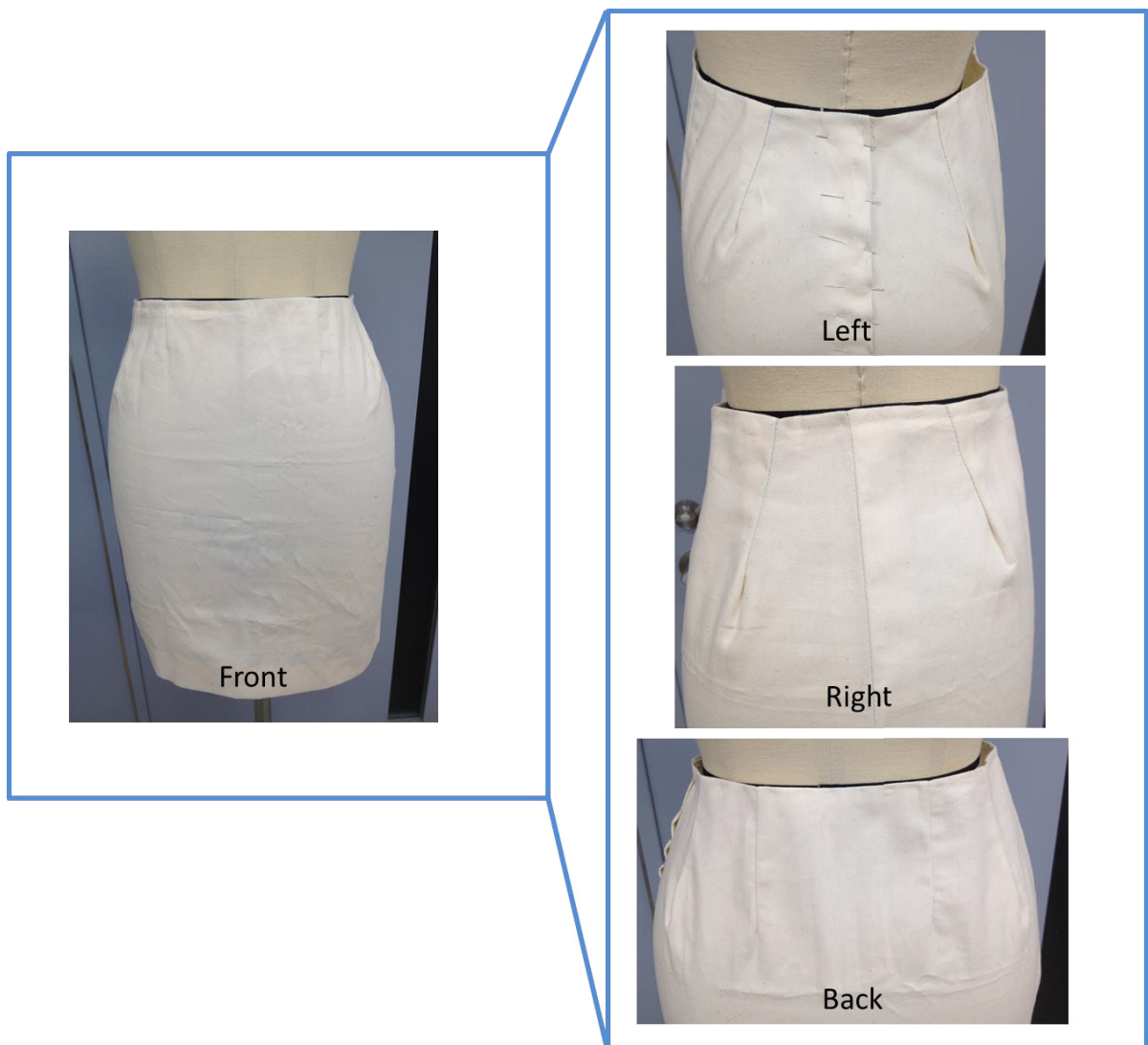


図 2-13 : 作成したタイトスカート

#### シミュレーションの結果と考察

シミュレーションしたタイトスカートを図 2-14 に示す。シミュレーションしたタイトスカートの形状はスカートのウエスト部分が狭くなっており、そして、ヒップからスカートの裾の部分では、中心線と脇線部分が平行となった。この形状は一般的なタイトスカートの特徴である。これらのことから、シミュレーションしたタイトスカートは通常のタイトスカートと同様の形状を再現することが出来たことを確認することができる。実際に作成したタイトスカートとシミュレーションした完成形状と比較すると、どちらも非常に類似した形状をしていることが分かる。また、シミュレーションしたタイトスカートにも、実際に作成したタイトスカートと同様に位置にくぼみが確認することができる。これも、本研究で得られた型紙のダーツ形状の影響によるものと考えられる。

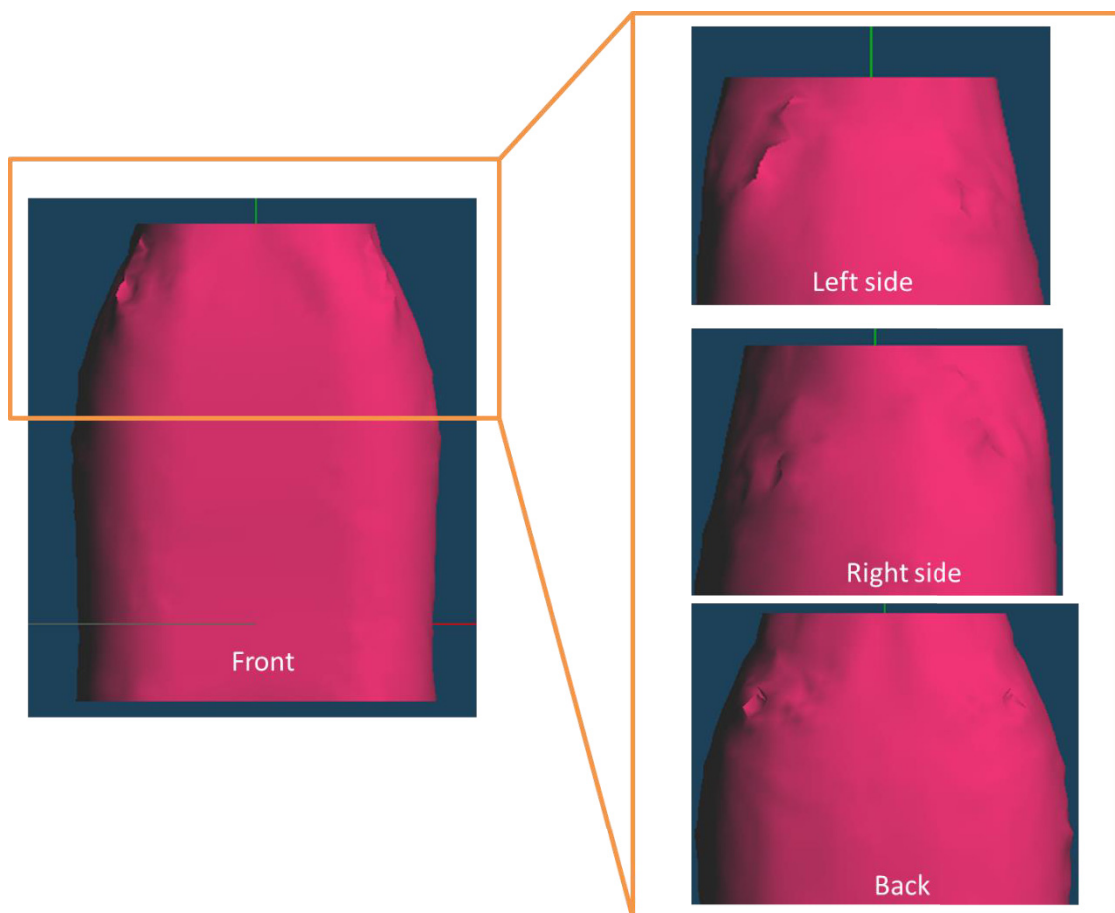


図 2-14 : シミュレーションの結果

このことから、このシミュレーションは型紙の固有の形状による影響も再現できていることを確認することができた。

#### 課題

以上のように、今回のタイトスカートの型紙の作成に関しては成功することができたが、いくつかの課題が残った。今回対象とした衣服はとてもシンプルなスカートであった。そのため、ダーツ形状などの誤差も少なく、実際にタイトスカート作成することができた。しかし、様々な衣服にこの方法を適応するには誤差をなくしより理想的な型紙を得る必要がある。特に本研究では、ダーツの形や量が適当ではなかった。本研究のダーツ形状の問題点は主に以下のとおりである。後ろのダーツ量はヒップの半分程度が理想であり脇ダーツはもう少し中央よりになっている方がよい。また、ダーツの先端が少し曲がった状態となっている。これらの問題は、ダーツを作成方法が影響していると考えられる。本研究では、ダーツは切れ込みによって作成され、その切れ込みは

予め位置や長さが設定されていた。現状では、人台モデルの形状に変形させた立体布モデルの状態においては、切れ込みを適宜変更することができないため、ダーツが適当でない場合は、最初から作業をやり直さなければならない。実際の立体裁断では、最初からダーツ位置を決めているのではなく、人台に布を沿わせる段階で、徐々にダーツを形成していく。実際の立体裁断と同様に、より理想的な型紙を作成するためには、三次元空間上で手を加えるシステムが必要である。今後、今回のシステムにインターフェースを介して3次元の状態を変更することのできる機能を追加する予定である。

また、今回はダーツ周辺の布目に関して特に制御していない。そのため、中心線には布目を合わせてあるが、ダーツ周辺では布目が通っていない可能性がある。その影響からもダーツがいびつな形になってしまったとも考えられる。布目は衣服に大きな影響を与えるとても重要な要素である。今後、ダーツ周辺の一部の布目を制御するシステムを追加し、より理想的な型紙を作成できるシステムに改良する予定である。

ところで、本方法では切れ込みの位置などが同じであれば、誰が作っても同じ衣服を作成できる。逆に、切れ込みの位置が異なれば違う衣服ができる。今後の予定としてはダーツの修正も衣服形状作成途中で適宜行えるようにすると上記で述べた。これにより、さらに個人の技術に依存してしまう部分も出てくると考えられる。しかし、個人の自由が利くということは一方で汎用的な衣服作りが可能であることもいえる。また、本方法のように実際の立体裁断の手順を模倣して衣服を作成するようなシステムを使用する人は、衣服作りの知識がある人または知識を身に付けたい人が対象となる可能性が高いと考得られるため、使い方に関しても大きな問題にはならないと考えられる。しかし、個人の技術の依存性も長所の一つであると考えられるが、あまりにも再現性がないようではシステムが機能しなくなってしまう。再現性を持たせるために、基準線や布目線を表示させるナビゲーションシステムの追加などが必要であると考えられる。

一方、本方法に新しいシステムを組み込まずに型紙を理想形に近づける方法としては、三角形要素を増やすことが考えられる。要素を細かくすることにより正確な形状を算出できると考えられるが、これには計算コストがかかってしまう。取得した型紙は正確ではないものの衣服を作製することができる最低限の条件は満たしていると言える。そのため、縫製する上で曲線になるように少し補正することである程度は修正可能であり、これにより体に合った衣服の型紙の理想形に近づけることができる。

本研究ではいくつか課題が残ったが、最も特徴的であるマッピングによる布モデルからの型紙作りに関して成功を収めることができた。この方法は立体裁断の基本的な手順を再現しているため、この方法を応用することにより、様々な衣服の型紙を作成することができると考えられる。衣服によっては、ゆとりが必要な場合もある。その場合は、マッピングを工夫することにより対応できると考えられる。また、立体裁断の教育現場へ適応が期待できる。さらに、衣服圧シミュレーションや、衣服を作成する作業工程での布の変化・力の分布シミュレーションなど仮想立体裁断以外に他の分野への応用が考えられる。



## 2.6 まとめ

本研究では、実際の立体裁断で行われる作業の一つである布目を基準線に合わせて人台に張り付ける作業に注目し、マッピングによる立体裁断を提案した。従来の仮想立体裁断は直接衣服形状を作成する。しかし、実際の立体裁断は布から衣服形状を作成している。この作業には衣服の形状に影響を及ぼす重要な要素を含んでいる。そのため、この作業を再現することにより、実際の型紙に近い型紙を作成できると考えられる。本研究では、マッピングにより効率よく布を人台モデルに張り付け仮想立体裁断を行った。マッピングによる仮想立体裁断の方法は以下のとおりである

今回使用した布モデルは連続体モデルであり、力学計算により布モデルの特性を再現している。また人台モデルは節点によって構成されている。まず、布モデルに切れ込みを入れる。次に、人台モデルに切れ込みの入った布モデルをマッピングし、その後力学計算を行った。これにより、人台に沿った衣服形状を取得する。最後に、型紙の輪郭線を算出するために必要な中心線やウエストラインなどの線を立体布モデルに写像し、立体布モデルでの型紙の輪郭線を算出する。立体布モデルにおける型紙の輪郭線の位置を平面布モデルへ対応させ、平面での型紙の輪郭線を得る。

今回は、この方法でタイトスカートの型紙を作成し、さらにこの方法により得られた型紙から実際にタイトスカートを作成することに成功した。また、仮想空間上でも作成した型紙からタイトスカートの完成形状をシミュレーションし、実際に作成したタイトスカートと同様の形状のスカートをシミュレーションすることができた。これらの結果から、この方法を用いて型紙を作成できることが確認された。

この方法は、より忠実な型紙作成のシミュレーション技術としてだけでなく様々な分野への応用が期待できる。今後、理想的な型紙が作成でき、さらにより汎用的なシステムとなるように改良を加える予定である。

# 第 3 章

## 手の動きによる布モデル 操作

## 3.1 はじめに

第2章において、実際の立体裁断を基にした幾何学的な方法を用いることにより、布モデルからシンプルな衣服の型紙の作成が可能であることが示唆された。しかし、さらにデザイン性がある衣服の場合、タイトスカートと異なり貼り付けた形がそのまま衣服形状に近くなると限らない。そのため、衣服を思い描いている形状へ変形させる過程が必須となってくる。この時に重要となる技術が布モデル操作である。

従来のインタラクティブな布モデル操作ではマウスを用いる操作が多かった。五十嵐らは、リアルタイムで布モデルをインタラクティブに操作する方法を提案した[19]。このシステムでは、マウスで仮想空間上の物体モデルと布モデルに対となる印を着け、その印に従って布モデルを物体に張り付けることができる。さらに、張り付けた布モデルをマウスのドラッグによって動かすことができ、布モデルが物体の表面を動く様子がリアルタイムで確認することができる。布モデルの操作は衣服の研究だけでなく、医療など様々な分野へ応用されている。

ところで、一般的な生活で行われている作業のほとんどが手で対象に触れて操作を行う。さらに、3次元的な動きが多い。しかし、マウスを用いた操作では手の動きが直接モデルに反映されないため、実際の操作感覚とは異なり混乱を生じる可能性があると考えられる。また、ユーザの入力情報は、インターフェースを介して現実世界と仮想空間の2つの空間を行き来することになる。2次元入力デバイスをインターフェースとして用いた場合、ユーザ（現実世界）とデバイス間、そしてデバイスと仮想空間の間では操作可能な次元が異なる。つまり、ユーザが情報をデバイスに入力する際は、ユーザが思い描いている3次元的な動きを2次元的な動きとして入力する必要がある。また、デバイスで取得した2次元の位置情報を3次元仮想空間上に反映させる際には、2次元位置情報から3次元位置情報へ変換する必要がある。そのため、情報の分割や統合など何かしらの機能を付加してユーザからの入力情報を補う必要が出てくる。すると操作が複雑になり混乱やミスが生じやすくなるため、衣服形状の作成が難しくなる。

一方、マウス以外にジェスチャによって仮想物体を操作する研究も進んでいる。佐藤らは、手のジェスチャを用いて仮想空間上で3DCGモデリングを行った[20]。彼らは現実世界の手の位置や形を用いて、ろくろで物体を変形させる操作を仮想空間上で行う方法を提案した。ろくろの基本的な操作を実装し、Kinectという本研究でも用いたセンサによって取得した手の位置や形から画面上にある物体を変形させることに成功した。Liangらはユーザが描いた衣服の一部からいくつかの衣服形状を自動的に推薦するシステムを開発した[21]。この研究では情報を入力または物体を操作するためにハイパー

タッチシステムを用いている。このシステムでは、画面を指でなぞったり手を画面の前で動かしたりすることで画面上の物体（衣服の絵や 3D のボール）の拡大や回転など 2.5D および 3D の操作をすることができる。これらの操作は、現実世界での操作に直結した操作方法であるため、直感的に操作方法を理解することができ、さらに自然な形で操作ができる。そのため、ユーザのイメージした指示と実際の実行結果との間に齟齬が生じることが少ないと考えられる。また、インターフェースの研究としても重要である。しかし、これらの研究において、操作対象は布モデルではない場合が多い。また、操作対象が布モデルであっても、立体裁断に適した操作ではない場合が多い。そのため、仮想立体裁断への応用は難しいと考えられる。

本研究の最終目標は実際の立体裁断の手順を考慮したリアルな仮想立体裁断方法の開発である。つまり、いくつかの布モデルを変形させて衣服形状を作成し、その後、衣服形状を展開し型紙を得る。この方法を実現させるためには、よりリアルな感覚で直感的に布モデルの操作ができることが望ましい。実際の手動きによって布モデルを操作することができれば、3次元的な操作ができると同時に、実際の布モデルの扱いを反映させた布モデル操作が実現できる。それにより、直感的でリアルな布モデル操作が可能になると考えられる。より実際の立体裁断に近い仮想立体裁断を行うために、実際の手動きによる布モデル操作を開発する。この章では、布モデルの操作方法と操作結果および考察を中心に述べる。

## 3.2 方法

本研究では、手の動きによって布モデルを操作する。ユーザは現実世界において手を動かす、またはキーボードのキーを押すことにより、仮想空間上の布モデルに指示を出す。手の動きはセンサにより、リアルタイムで仮想空間上に送られる。これにより、リアルタイムで布モデルへ指示を出すことができる。手の動きは主に布モデルの操作を行うために用いられる。本研究で行う布モデル操作は、日常で行う基本的な操作である。例えば、移動、つまむ、放すである。ユーザには仮想空間上の様子が示されており、ユーザは操作する際に布モデルの様子を確認しながら手を動かして布モデルを操作する。現実世界ではただ手を動かしているだけであるが、ユーザに表示されるモニタ上では布モデルが存在しており、現実世界の手の動きと連動して、まるで見えない手が布モデルを操っているかのような動きをする。このように現実世界と仮想空間とをリンクさせ、手の動きにより布モデルをインタラクティブに操作する。本方法の説明をする前にまず操作環境とインターフェースについて説明する。

### 3.2.1 操作環境及びインターフェース

#### 3.2.1.1 操作環境

本研究の操作環境は現実世界と仮想空間 2 つの空間からなる (図 3-1)。現実世界の手の動きや仮想空間上の布モデルの形状など様々な情報を現実世界と仮想空間の間でやり取りを行うことにより、インタラクティブな布モデル操作を実現させる。以下ではこれらの操作環境について詳しく説明していく。

図 3-1 のように、現実世界ではセンサはユーザの正面に、PC はユーザが画面を目視できる位置に設置してある。PC 画面上には図 3-2 のように布モデルが映し出されており、ユーザは画面上の布モデルを確認しながら自身の手またはキーボードにより PC に指示を出す。センサはユーザの手の位置をリアルタイムで取得し、PC に手の位置情報を送る。

三次元仮想空間上では、布モデル、物体モデル、手のモデルの 3 種類のモデルが用意さ

れている。手のモデルは、センサにより得られた手の位置を点で表したものである。物体モデルは布以外の物体をモデル化したものである。布モデルと物体モデルに関しては 3.2.2 にて詳しく説明する。取得した手の位置情報やキーボードの入力情報から、操作の種類判定や布モデルの位置・形状の算出等を行う。例えば動かす操作の場合は、得られた手の位置座標に布モデルを移動させ、その移動に伴う布モデルの変形形状を逐次算出する。算出した結果を画像としてユーザに示す。以上により、現実世界における手の動作に伴い仮想空間上の布モデルが動き、その様子をユーザにフィードバックすることができる。

システムは CPU が Core i7 2.60GHz, メモリ 8.00GB, GPU : NVIDIA Geforce GT650M のコンピュータ上で実行した。システムの開発環境として VisualStudio 2010 の C++を用いた。プログラムは部分的に GPU を用いて並列化している。GPU のシステム開発には CUDA 4.2 を用いた。

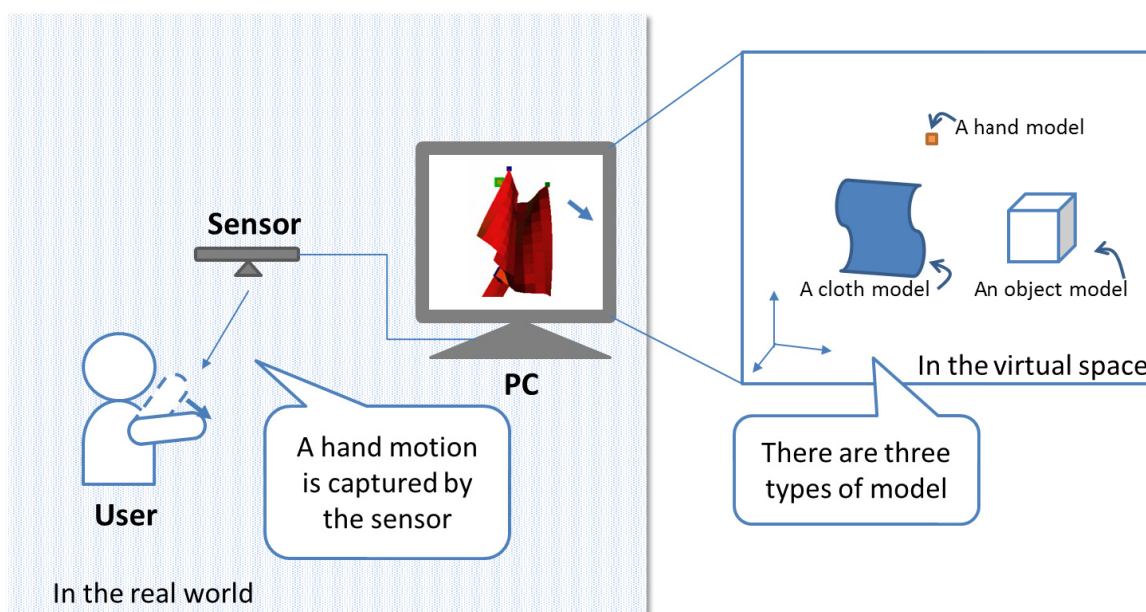


図 3-1 : 操作環境

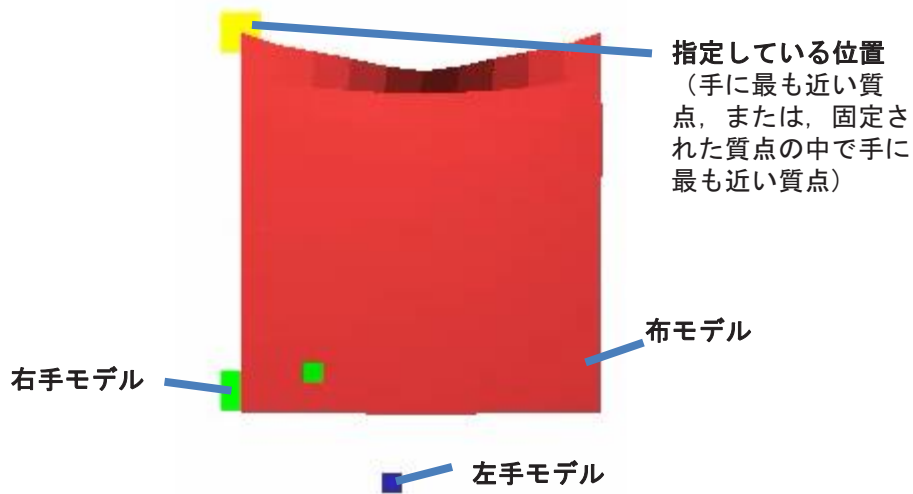


図 3-2 : 作業画面

### 3.2.1.2 インターフェース

手の動きにより布モデルを操作するためには、現実世界からの指示を取得し、仮想空間上へ送るインターフェースが必要となる。仮想空間上では、全ての事象を数値や式などにより具体的に示さなければならない。つまり、手の動きに伴う布モデルの変形も数値化や数式化により算出し再現する。そのためには、算出に用いる手の動きを定量的に取得する必要がある。インターフェースによりリアルタイムに手の動きの定量化データを取得する。

本研究では、現実世界と仮想空間の間で手の情報のやりとりを行うためにインターフェースとして、Kinect というセンサを用いた。図 3-3 に Kinect を示す。Kinect とはマイクロソフト社が発売したゲーム機用のセンサである。Kinect には、RGB カメラ、赤外線カメラ、深度センサ、マルチアレイマイクロフォンなどが搭載されている。Kinect のカメラやセンサで取得した画像から身体の位置や動きを取得することができる。また、マルチアレイマイクロフォンから音声を取得し音声により操作することも可能である。Kinect はパソコンに USB 接続し専用のプログラムパッケージを用いることにより Kinect を制御することやアプリケーションを作成することができる[22]。そのため今回は Kinect を PC に接続し kinect for windows SDK を用いて Kinect を使用した。

Kinect の最大の特徴は、通常のモーションキャプチャーのようにマーカなどを身体に付けることなく人の骨格や動きを取得することができることである。Kinect では RGB 画像とともに距離画像を取得することができる。各画素に対してその場所の奥行情報を入れたものが距離画像と呼ばれている。Kinect で取得した画像を基に予測モデルから画像のスケルトンを予測し、体の各部位の 3 次元座標を取得する。取得できる部



図 3-3 : Kinect

位は、頭、両手、両足など合わせて 20 箇所である。Kinect は指の座標も取得できるが、本研究では指の動きが必要な細かいジェスチャは行なわないため、手の平の 3 次元座標を用いて操作を行った。取得された座標は、1/30 秒毎に更新され、それによりリアルタイムに手の動きを取得することができる。本研究では、よりリアルな布モデル操作を行うために、自由に手を動かさせ、リアルタイムに手の座標を取得することができる Kinect を用いる。

## 3.2.2 モデル

仮想立体裁断に応用するためには、いくつかのモデルが必要である。実際の立体裁断に必要な要素は、布と人台および手である。本研究でも、最終的には布モデルから衣服モデルの作成を目指しているため、これらをモデル化する必要がある。また、手の動きを用いて操作を行うため、仮想空間上で手の位置を表示する必要がある。そのため手のモデルも用意した。この節では、布モデルと物体モデルの構成と各モデルとの相互関係の定義を説明する。

### 3.2.2.1 布モデル

本研究で用いた布モデルは、質点バネモデルである。布モデルを図 3-4 に示す。このモデルは、質点を格子状に並べ、各質点は上下左右そして斜めの全部で 8 つのバネで接続されている。上下左右のバネと斜めのバネでは、バネの初期長やバネ定数が異なっている。質点は質量を持っているため、重力がかかるようになっている。このモデルでは、布モデルの動的な挙動や衝突に関する挙動も再現されている。これらの説明は 3.2.2.2 と 3.2.2.4 で行う。このモデルは非常にシンプルなモデルであり、リアルタイムでの布モデル操作に適している。そのため、研究では、このシンプルなモデルを採用した。本研究では、プログラムの起動時に布モデルが重力により落下してしまうのを防ぐために、操作が実行されるまで布モデルの一部を固定した。図 3-5 に布モデルの初期状態を示す。布の形状によって操作に不備があるかを検討するために、初期状態を、布モデルが開いている状態と丸まっている状態の 2 種類用意した。以降、それぞれを初期状



態 1, 初期状態 2 と呼ぶ.

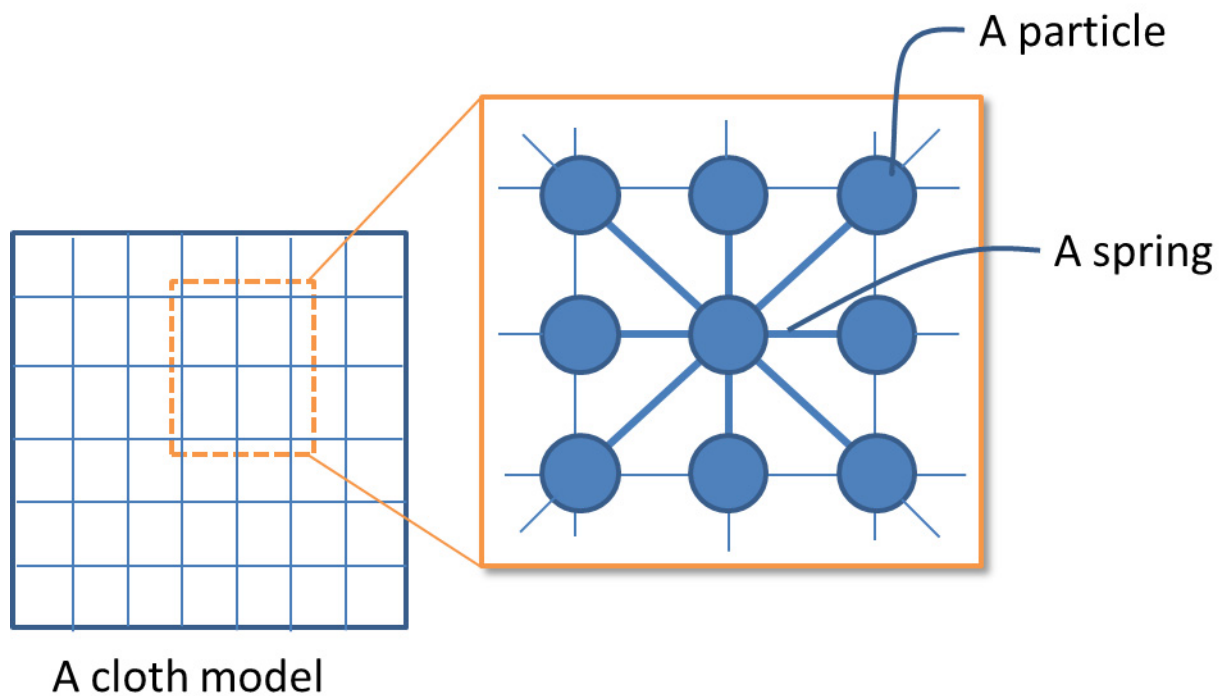
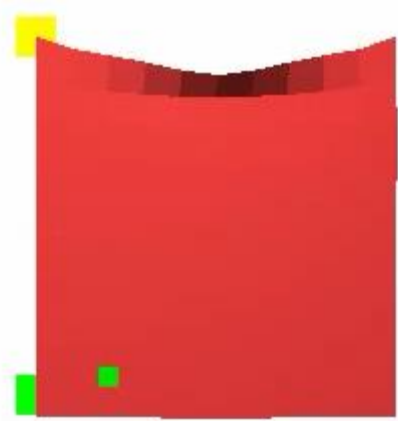


図 3-4 : 質点バネモデル



(a) 初期状態 1



(b) 初期状態 2

図 3-5 : 布モデルの初期状態

### 3.2.2.2 力学計算

布モデルの挙動を再現するために力学計算を行う。布には引張りやせん断といった物性を持っており、その物性によって変形の仕方が変わる。布モデルは質点とバネで構成されているため、各質点が移動することで布モデルを変形させることができる。しかし、任意の質点が移動した際に、他の質点がどのように移動するのかということを決めなければ、布の挙動を再現することができない。そのため、各質点の移動パターンを数式化することにより布モデルの挙動を定義する必要がある。

本研究では、布モデルの動的な挙動は、力学計算により数値的に算出された位置に各質点を移動させることにより再現されている[23]。各質点には、移動に伴いバネによる力がかかる。その他にも外力として重力と衝突反応による力が質点にかかっている。この衝突反応による力は、物体モデルと布モデルとの相互作用の際に生じさせた力である。これらの力を合計し、その合力を積分することにより次のステップ時の質点の位置を求める。

質点*i*の移動によるバネの変形に伴う力 $\mathbf{F}_{i,spring}$ は

$$\mathbf{F}_{i,spring} = \sum k_a(|\mathbf{x}_{ik}| - l_a) \frac{\mathbf{x}_{ik}}{|\mathbf{x}_{ik}|} + \sum k_d(|\mathbf{x}_{il}| - l_d) \frac{\mathbf{x}_{il}}{|\mathbf{x}_{il}|} \quad 3-1$$

で求められる。上下左右の隣接質点を接続するバネのバネ定数を $k_a$ 、初期長を $l_a$ 、斜めの隣接質点を接続するバネのバネ定数を $k_d$ 、初期長を $l_d$ とする。 $\mathbf{x}_{ik}$ は上下左右の質点間のベクトル、 $\mathbf{x}_{il}$ は斜めの粒子間のベクトルである。

質点*i*にかかる重力 $\mathbf{F}_{i,gravity}$ は

$$\mathbf{F}_{i,gravity} = \mathbf{g} * m \quad 3-2$$

である。 $\mathbf{g}$ は重力加速度であり値は9.80665である。また、 $m$ は質点の質量である。これらの力に衝突反応による斥力 $\mathbf{F}_{i,resp}$ を加えた力が、質点にかかる合力 $\mathbf{F}_i$ となる。

$$\mathbf{F}_i = \mathbf{F}_{i,spring} + \mathbf{F}_{i,gravity} + \mathbf{F}_{i,resp} \quad 3-3$$

$\mathbf{F}_{i,resp}$ は第3.2.2.4で詳しく説明する。

各質点にかかる力を用いて、次のステップに置ける質点の位置を算出する。運動方程式は質点の運動を表した式である。布モデルの質点は運動方程式に基づいて移動するため式3-3で求めた各質点にかかる合力を時間積分することにより質点の変位を求めることができる。本研究では、原田らと同様に求められた力を leap-flog 時間積分することにより各粒子の変位を算出した[23]。leap-flog 時間積分は高速な計算が可能である。

質点*i*の時間 $t + dt$ での位置 $\mathbf{x}_i^{t+dt}$ は以下の通りになる。

$$\mathbf{x}_i^{t+dt} = \mathbf{x}_i^t + \alpha(\mathbf{x}_i^t - \mathbf{x}_i^{t-dt}) + \frac{\mathbf{F}_i dt^2}{m_i} \quad 3-4$$

$\mathbf{x}_i^t$ は質点*i*の時間  $t$  での位置、 $\mathbf{x}_i^{t-dt}$ は質点*i*の前ステップの位置、 $m_i$ は質点*i*の質量、 $\mathbf{F}_i$ は質点*i*にかかる力の合力、 $\alpha$ は減衰係数、 $dt$ は1ステップあたりの時間である。次の移動

位置を求める時に $\mathbf{x}_i^t$ が必要になるため、これを保存しておく。

### 3.2.2.3 物体モデル

本研究では、仮想空間上に布モデル以外の物体モデルを用意した。一般的な布操作に布を張り付けるという操作がある。この操作を行うためには、張り付ける対象が必要である。そのため、仮想空間上に物体モデルを用意した。物体モデルは、移動や変形をしないため、力学計算や衝突の計算を行わない。

用意した物体モデルは大きく分けてシンプルな形状の物体モデルと人台モデルである。シンプルな形状の物体モデルは、布モデルの衝突反応と張り付け操作を行うために用いる。この物体モデルも、節点により構成されている。節点は均等に並べられている。変形する必要がないためバネはない。本研究では、正方形の水平平面板と立方体のモデルを用意した。

仮想立体裁断を行うために、人台モデルも用意した。第2章のマッピングによる仮想立体裁断に用いた人台モデルと同じものを使用している(図 2-1)。この人台モデルも粒子で構成されている。人台モデルは実際の人台をスキャンしたものである。人台モデルは、633の水平断面に分かれており、その断面の円周上に配置されている256個の節点により構成されている。各節点は、連続して並んでいる2つの節点と断面の中心とで作られる中心角が $2\pi/256$ となるように配置されている。各節点の位置は、断面の高さと断面の中心から節点までの距離そして中心角で表されている。

### 3.2.2.4 衝突

布モデルが物体モデルに衝突した際、布モデルと物体モデルとのすり抜けを防ぐため、衝突したときの反応を定義する必要がある。仮想空間上での物体と布モデルとの衝突に関する研究は多くされており[23-26]。本件では原田らの衝突判定と衝突反応[23]に参考にして相互作用を定義した。

まず、布モデルと物体モデルが衝突していることを判定する。衝突判定は、布モデルと物体モデルの距離により判定し、その距離が予め設定したしきい値よりも短い場合、布モデルと物体モデルは衝突していると判定する。布モデルと物体モデルの距離は、布モデルのある質点において、物体モデルの各節点との距離を算出し、最も短い距離をその布モデルの質点と物体モデルとの距離とした。

布モデルの質点が物体モデルと衝突していると判定された場合、衝突している布モデルの質点に斥力をかけ、その質点が物体をすり抜けてしまうのを防ぐ。物体モデルは変形しないため、この斥力は布モデルのみにかける。斥力は以下の式により算出される。

$$\mathbf{F}_{i,resp} = \frac{m_i}{dt^2} \Delta \mathbf{x}_i = -\frac{m_i}{dt^2} (\varepsilon - d) \mathbf{n} \quad 3-7$$

$\mathbf{x}_i$ は衝突判定対象の布モデルの質点 $i$ の位置,  $d$ は質点 $i$ と物体モデルの節点 $i_b$ の距離,  $\mathbf{F}_{i,resp}$ はこの質点 $i$ を物体との距離が $\varepsilon$ となるように動かす斥力,  $\mathbf{n}$ は布モデルの質点 $i$ に最も近い物体の節点 $i_b$ へのベクトル,  $m_i$ は質点 $i$ の質量,  $dt$ は1ステップあたりの時間である.

この斥力は質点を物体との距離が $\varepsilon$ のところまでに移動させる力であるため, 布モデルと物体モデルの間には少し隙間がある. 上記のような2つのステップにより布モデルと物体モデルとの衝突を定義する.

### 3.2.3 操作

本研究では、立体裁断を行う上で必要となる6つの操作を実装した。立体裁断では布の移動や張り付けなど基本的な布の操作によって衣服形状を形成していく。本研究では、現実の立体裁断の流れや操作を動的に再現するための基本的な操作を行った。今回行った布モデル操作は、「移動」、「つまむ」、「放す」、「留める」、「マッピング」、「裁断」である。これらの操作を実装し、「組み合わせ」において一連の流れで操作を行えるようにすることにより実際の布の扱い方に近い布モデル操作を行う。表3-1のように、これらの操作は実際の立体裁断の操作に対応させることができる。

表3-1：実際の立体裁断での作業と布モデル操作の対応

立体裁断で製作者が行う作業	作業を構成する操作	仮想化する際に使用する布モデル操作
布を人台に近づける	・布を持って運ぶ	・移動操作
布を人台の布目線に従って張り付ける	・基準線に沿わず ・布の大部分を張付ける	・マッピング
	(微調整のため) ・布を引っ張る ・一部を留める ・掴んだ布を放す ・ピンを外す	・つまむ操作→留める操作 ・放す操→つまむ操作→留める操作
つまんで衣服形状を作成する	・布を引っ張る ・布の一部をつまむ ・布の余分な部分をつまむ	・つまむ操作
	・布の一部を留める ・つまんだ箇所をピンで留める	・留める操作
	・掴んだ布を放す ・ピンを外す	・放す操作
	・切れ込みを入れる（襟元など）	・裁断操作
	*適宜、各操作を組み合わせる	
余分な布を裁断	・布を引っ張る ・布を大まかな大きさに切る	・つまむ操作→裁断操作
*一連の流れで操作を行うために組み合わせ操作が必要となる		

### 3.2.3.1 移動操作

布モデルの移動操作は、布モデル上両端を持って動かす操作である。この操作は、両手の位置に布モデルの上両端の質点を固定することにより行う。まず Kinect で両手の座標を取得する。取得した座標を布モデルの上両端の質点の座標にそれぞれ代入する。これにより、質点は手の位置へ移動する。布モデルの両端の質点は、他の質点とは異なり、布モデルの挙動とは関係なく、手の動きに追従して移動しなければならない。そのため、この 2 つの質点では、力学計算や衝突判定・反応を行わず、移動操作が終わるまで手の座標を質点の座標に代入し続ける。これにより、質点を手の位置に固定することができ、独立に手の動きに従って布モデルを移動させることができる。移動操作が終了した際は、両手に固定されていた質点の拘束が解かれ、手の動きについて行かないようになる。ただし、完全に拘束を解いた場合、布モデルが重力によって落ちてしまう可能性があるため、終了時の位置で留まるようにした。つまり、手の座標の質点の座標への代入を止め、力学計算や衝突の計算は行わない。

### 3.2.3.2 つまむ操作

つまむ操作では、布モデルの任意の位置を一点つまむことができる。この操作は、手に最も近い布モデルの質点を手の位置に固定することにより行う。固定方法は移動操作と同様である。つまり、手に最も近い質点を算出し、その質点の座標を手の座標と入れ替える。その後、力学計算や衝突の計算を行わずに、その質点を手の位置に固定し続ける。つまむ操作が終了した際、手に固定されていた質点は完全に拘束を解かれる。このとき、移動操作とは異なり、その場には留まらず、他の質点と同様の扱いとなる。つまり、手の座標を質点の座標に代入することをやめ、力学計算や衝突計算を行う。

つまむ操作を行う際、ユーザは布モデルの任意の位置を選択し、つまむことができる。ユーザに、布モデル上で選択している位置、つまり手の座標に最も近い位置を知らせるために、最も近い質点は他の質点と異なる色で表示している。これにより、ユーザは自分が望んだ位置を選択し、つまむことができる。

### 3.2.3.3 放す操作

放す操作では、布モデルにおいて固定された位置の拘束を解くことができる。固定されている箇所であれば、つまんでいる質点であっても放すことができる。この操作は、固定されている質点の拘束を完全に解くことにより行う。つまり、力学計算や衝突の計算を行い、固定されていた質点は他の質点と同じ扱いとなる。放す操作では複数固定されている質点から任意の質点を選択して拘束を解くことができる。選択される質点は手に最も近い固定された質点である。この質点は他の質点とは異なる色で表示されている。そのため、ユーザは選択されている質点を確認しながら、放す位置を選択することができる。

### 3.2.3.4 留める操作

一般的に現実世界ではまず布をつまみ、その後つまんだ部分を張り付ける。そのため本研究では、つまむ操作のあとに張り付ける操作を行うこととした。つまむ操作は、布モデルのつまんでいる箇所を物体モデルの任意の点付近に留めることができる。付近としたのは、衝突反応により少し隙間が空くことを考慮したためである。この操作は、つまんだ手に最も近い物体の節点付近につまんでいた質点を固定することにより行う。まず、手に最も近い物体の節点の位置を算出する。つまんでいる質点を算出された物体の節点の位置へ移動させる。このときつままれていた布モデルの質点は固定しない。その後、衝突判定・反応そして重力は無視した状態で力学計算を行い、つままれていた質点を衝突範囲外まで移動させる。移動した場所で固定する。この留める操作でも、手に最も近い物体の節点の色を他の質点や節点と異なる色で表示させ、張り付ける位置を確認することができる。衝突反応を考慮し、物体モデルの任意の位置に布モデルを留めることができる。

### 3.2.3.5 裁断操作

手の動きによって布モデルを裁断する。立体裁断を行っていく上で、余分な布を裁断する場合がある。また、首周りの布に切り込みを入れる作業もある。立体裁断に限らず、布の裁断はよく用いられる一般的な操作の一つであると考えられる。ところで、通常、布はハサミや素手で布を裁断される。どちらの場合も、手の動きに従って裁断され、切り取り線は手の軌跡と同様の曲線を描く。そこで、本研究では、切り取り線をユーザが手の軌跡によって指定し、その線に沿って布モデルを裁断するシステムを作成した。この操作は3つの段階に分かれている。まず、手の軌跡を取得する。次に手の軌跡から切り取り線を算出する。最後に布モデルを切り取り線に沿って裁断する。この時、布モデルはメッシュに沿って裁断される。もしメッシュに関係なく自由な裁断を許してしまうと、メッシュの形が複雑そして多様化してしまう。さらに布モデルのバネの長さも多岐にわたってしまう。この布モデル操作はリアルタイムで行うことを目標にしているため、なるべく簡単なモデルで計算処理を早くする必要がある。従って、裁断後のメッシュの形状はなるべく単純なものである必要がある。そのため、本研究では、メッシュに沿って布モデルを裁断することとした。裁断操作は、キーボードのキーを押すと実行され、まず手の軌跡の取得が始まる。再度キーを押すと手の軌跡の取得を終了し、切り取り線の取得そして布モデルの裁断に移り、操作が終了する。以下では、各手順に関して詳しく説明する。

## I. 手の座標の取得

最初に切り取り線を算出するために手の座標を取得する。裁断操作が実行されると、手の軌跡の取得が開始する。裁断操作開始から再びキーが押されるまでの間、Kinectにより手の座標が得られる。この得られた手の座標を時間系列に並べた線を手の軌跡とした。また、この時、手の座標を取得すると同時に手に最も近い布モデルの質点も取得し、時系列順に配列に格納した。この配列の質点をつないだ線は、手の座標を布モデル上に射影した線として裁断に用いられる。

## II. 切り取り線の取得

手の軌跡に対応した布モデルの位置を取得した後、得られた配列から切り取り線を算出する。布モデルを裁断するためには裁断する道筋を詳細に示す必要がある。上記で得られた配列は、裁断位置を手で示した軌跡を布モデルに射影したときの質点の集合であるため、この配列の質点を結んだ線が最もユーザがイメージした線に近いと考えられる。しかし、この配列だけでは裁断位置を指定するには不十分である。というのも、取得した手の軌跡が離散した状態となっているため、配列内の隣り合う質点同士でも布モデル上の位置では隣同士とは限らない。配列内の質点が離散的に存在している場合、質点の間では裁断位置が明確に指定されておらず、裁断することができない。従って、裁断位置が明確になるように配列に新しく質点を追加する必要がある。また、単純に配列の質点を結んだ線をそのまま切り取り線として使用しては、メッシュを横切ってしまう可能性がある。メッシュに沿って布モデルを裁断するため、メッシュを横切らないように切り取り線を形成する必要がある。本研究では、得られた配列を基に切り取り線を補う質点を求め配列に追加し、その配列内の質点を結んだ線を切り取り線とした。この追加する質点は以下のようにして求める。図 3-6 は以下の作業の流れを表している。

- 1: 配列内の連続する 2 つの質点  $p_i$  と  $p_{i+1}$  において、配列の順番が若い質点  $p_i$  の隣の質点  $p_{a1}$  を配列に加える。
- 2: 配列に加えた質点  $p_{a1}$  の上部の質点と質点  $p_{a1}$  との間の格子が直線  $p_i p_{i+1}$  を横切らない場合は、上の質点を配列に追加する。
- 3: 直線  $p_i p_{i+1}$  を横切るまで追加した質点において 2 の作業を繰り返す。
- 4: 直線  $p_i p_{i+1}$  を横切った場合、 $p_i$  を追加した質点で最も新しい質点に置き換えて 1~3 の作業を行う。
- 5: 1~4 の作業を  $p_{i+1}$  にたどり着くまで行う。  
この一連の作業を配列の各質点間で行う。



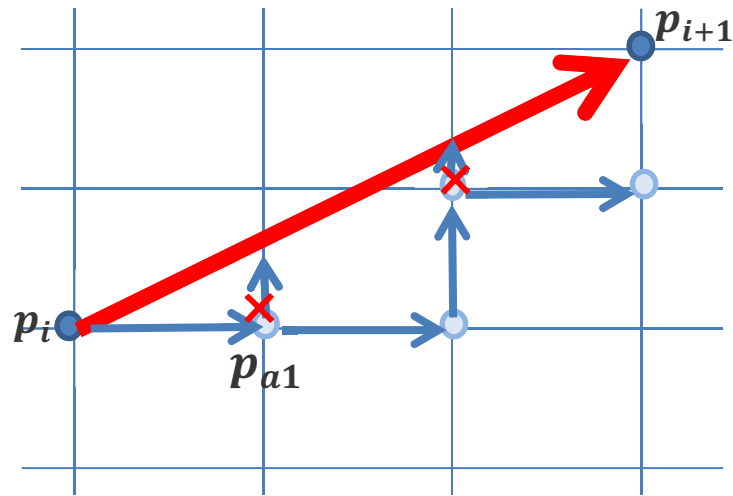


図 3-6 : 切り取り線の取得

### III. 裁断

最後に、取得した切り取り線に沿って布モデルを裁断する。布を裁断した際、裁断前は連続した布が切り取り線を境として2つの領域に分かれる。つまり、裁断箇所には2つの境界が生成される。本研究でも同様に新しい境界を生成することにより布モデルの裁断を再現した。つまり、布モデルにおいて切り取り線上に質点とバネを新しく作成し、いくつかのバネを元の質点から新しい質点に付け替えることにより行う。これにより、布モデルは元の質点で構成されている境界と新しい質点で構成されている境界の2つの境界が生成される。

付け替えるバネの本数や位置は、切り取り線の形によって変わる。例えば、切り取り線が直線状になっている場合は、質点に接続している3本のバネを付け替える。これは、切り取り線が垂直線か水平線かで付け替えるバネの位置が変わる。また、切り取り線が曲がっている場合、切り取り線の曲がり角の部分は1本または5本のバネを付け替えることとなる。一方、裁断後に布モデルが切り離されることを考慮に入れバネの位置を相対的に定める必要もある。例えば、切り取り線が水平線であった場合、付け替えるバネが境界線の上部のバネなのか下部のバネなのか統一しておかないと、ある質点では切り取り線より上部に位置する3本のバネを新しい質点に付け替え、そして違う質点では下に位置する3本のバネを新しい質点に付け替えてしまう可能性がある。これでは、布モデルがきちんと明確に切り離すことができなくなってしまう。本研究では、付け替えるバネの位置を切り取り線に対して相対的に決めることによりこの状況を回避した。

以上のことをまとめながらバネの付け替え方法について具体例をあげながら説明する。図 3-7 は付け替える様子を表している。付け替えるバネは切り取り線上の連続する 3 つの質点の並びによって定める。いま、3 つの質点のうち真ん中の質点  $i$  のバネを付け替えるとする。まず、これら 3 つの質点から切り取り線をベクトル  $v_i$  と  $v_{i+1}$  で表す (図 3-7 (1))。ベクトルの方向は切り取り線の配列に格納されている質点の順番に従って統一されている。このとき切り取り線のベクトルの左側にあるバネが新しい質点に付け替えるバネとなる。図 3-7 の場合、ベクトル  $v_i$  と  $v_{i+1}$  の左側にあるバネ 2~6 を新しい質点に付け替えることとなる。次に、質点  $i$  と同様の場所に新しい質点を生成する (図 3-7 (2))。図上では便宜上離れた位置に新しい質点が描かれているが、実際は同じ箇所にある。その後、生成した質点にバネを付け替える (図 3-7 (3))。最後に、質点  $i$  と生成した質点を新しいバネでつなぐ (図 3-7 (4))。この手順を繰り返すことにより、布モデルを裁断して行く。一方、切り取り線の一番最初の質点では、前の質点が存在しないため 2 つの質点の並びで上記と同様にベクトルを算出しそのベクトルの左側にあるバネを付け替える。

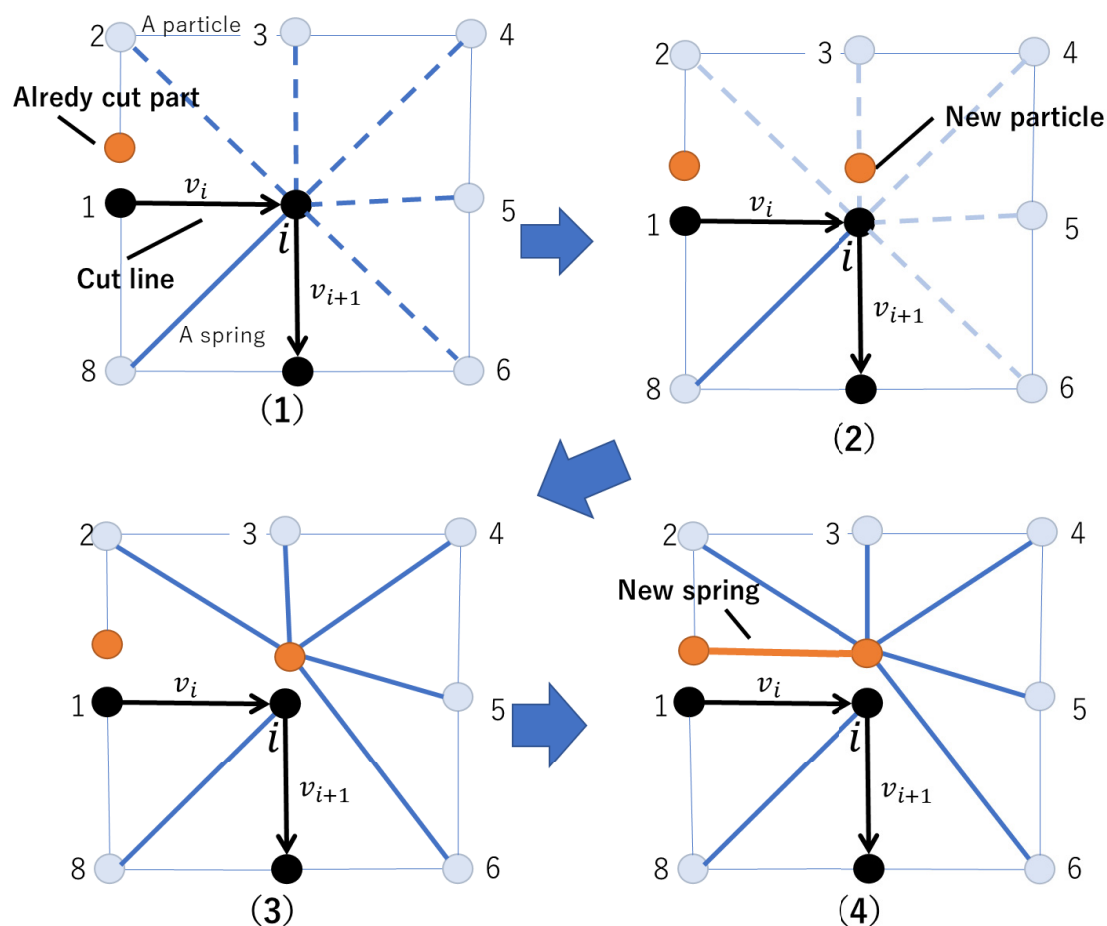


図 3-7 : ばねの付け替え

### 3.2.3.6 マッピング操作

現実の立体裁断では、布目を人台のセンターラインなどの基準となる線に合わせて正確に張り付けることが必要であり、この操作はとても重要な操作の一つである。しかし、上記の留める操作ではセンターラインなどに沿って正確に張り付けるには限界がある。そこで本研究では、布目に沿って正確に布モデルを人台モデルに張り付けるために、布モデルを人台モデルにマッピングする方法も加えた。この方法は第2章で述べたマッピング方法を応用したものである。そのため、説明は 2.2.2.2 に譲りここでは割愛することとする。

### 3.2.3.7 組み合わせ操作

立体裁断を行う過程では、様々な操作を連続的に組み合わせて使用する。そのため、立体裁断をリアルタイムで行うためには、これらの操作を組み合わせてまたは連続的に操作できるようにする必要がある。本研究では、対応するキーボードのキーを押すことで操作を開始または終了することができ、これにより各操作を切り替えることができる。ただし、マッピングによる操作は組み合わせで操作することができない。いくつかの操作では、キーを押すことにより場所を指定することもできる。移動操作、つまむ操作そして放す操作は繰り返し行うことができる。

各操作に置ける操作者の動作と仮想化方法を次頁の表 3-2 にまとめる。

表 3-2： 各操作における操作者の動作と仮想化方法

操作	操作者の動作	仮想化方法
移動操作	両手を動かす	布モデル上端の 2 つの質点を手モデルに固定
つまむ操作	手を動かしてつまむ場所の布モデルの質点の色を変える.	最も近い質点を手に固定させる. 終了後, 固定を解除する
放す操作	手を動かして放す位置の布モデルの質点の色を変える	最も近い固定されている質点の拘束を解除する
留める操作	つまむ操作実行中に, 手を動かして留めたい位置にある物体の節点の色を変化させる	最も近い物体モデルの節点に, 手モデルに固定されている布モデルの質点を固定する.
裁断操作	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 手を布モデルに近づけるように動かす.</li> <li>2. 裁断したい箇所を手で描く.</li> <li>3. 描き終わったら手を布モデルから離す.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>①手の軌跡を取得</li> <li>②切り取り線の取得</li> <li>③裁断: 質点を新しく作成し, バネをつなぎ変えることにより行う</li> </ol>
マッピング		布モデルの質点を基準線を元に配置し, その後力学計算を行って布モデルの安定形状を取得する.

### 3.3 結果と考察

本研究では、「移動」「つまむ」「放す」「留める」「裁断」「マッピング」「組み合わせ」の操作を行った。実験で行った操作の詳細を表 3-3 に示す。操作結果を図 3-8-3-18 に示す。以下、各操作の詳しい結果を述べる。

表 3-3：操作の詳細

操作	操作内容
移動操作	衝突物なしでの移動
	衝突物ありでの移動
つまむ操作	布モデル 1 点固定状態でのつまむ操作
	布モデル 2 点固定状態でのつまむ操作
放す操作	布モデル 1 点固定状態での放す操作
	布モデル 2 点固定状態での放す操作
	布モデル 2 点以上固定状態での放す操作。 *放す位置は任意
留める操作	つまむ操作→留める操作
裁断操作	予め定められた線による裁断
	手の軌跡による裁断
マッピング	中心線に合わせて布モデルをマッピング
組み合わせ操作	つまむ操作→放す操作→留める操作
	移動操作+つまむ操作+放す操作 *任意の順番で実行。回数も制限なし
	裁断操作+移動操作+つまむ操作+放す操作 *下線部分の操作は任意の順番で実施。回数も制限なし
	裁断操作+移動操作+つまむ操作+放す操作+同時操作（移動操作の途中でつまむ操作、または、移動操作途中で放す操作） *裁断操作は常に最初に実行される。その他の操作は順番や回数に制限はない。

### (a) 移動操作

移動操作では、単純に手の動きに従って布モデルを移動させる操作と物体モデルとの衝突を含んだ移動操作を行った。布モデルの移動操作結果を図 3-8 に示す。また、水平な平面状の物体モデルと布モデルが衝突している様子を図 3-9 に示す。これらの結果から、布モデルを手の動きに従って動かすことができることを確認した。物体モデルが存在している空間で布モデルを操作した場合、物体モデルと布モデルが衝突しても物体モデルをすり抜けることなく物体を避けるように布モデルが変形した。

布モデルの質点数を変え移動操作を行い、リアルタイム性について検証した。物体モデルとの衝突がない場合の結果は以下のとおりである。22\*22 の布モデルでは、リアルタイムで布モデルを操作することができた。42\*42 の布モデルの場合、手の動きに少し遅れて動くようになり、さらに布モデルの個数が 102\*102 の場合は計算に時間が非常にかかったため布モデルの挙動が遅かった。一方、物体モデルと布モデルとの相互作用がある場合の結果は、21\*21 の布モデルでは、リアルタイムに手の動きに従って布モデルを動かすことができた。しかし、81\*81 の布モデルでは、コマ送りのように動いた。このように、衝突なしでの移動操作でも、布モデルを構成している質点が多いと、その分計算量が多くなるため CPU の計算処理が手の動きに追いつかずに時間差ができてしまう。物体モデルとの相互作用がある場合は、衝突のための計算も行うようになるためさらに計算に時間がかかってしまう。しかし、立体裁断を行うには、さらに大きな布モデルを用いることや、より正確に布モデルの挙動を再現するために質点数を増やすことが必要となってくる。リアルタイム性を失わずに立体裁断を行うために、2つの解決策を考えている。一つ目は、GPGPU を用いてより効率よく計算を行い、計算時間を削減することである。もう一つは、操作の種類や特性によって 2種類の布モデルを使い分けることである。動的な操作（例えば、動かす操作やつまむ操作など）では、布モデルの移動がメインであるため、布モデルの形は大まかであっても操作にさほど支障はないと考えられる。このような操作の場合は、シンプルな布モデルを用いてリアルタイムで操作することに重きを置く。一方、細かな挙動や正確性が必要な操作（例えば、マッピング操作やマーキングなど）では、布モデルの動きよりも正確さや詳細な形が重要であるため、より正確な形を計算できるモデルを用いる。二つの布モデルを切り替える際は、シンプルな布モデルの形をもう一つの布モデルの初期状態として用いることで、形を引き継ぐ。本研究では、リアルタイムでの布モデル操作に重きを置いているため、シンプルなモデルである質点バネモデルを用いた。

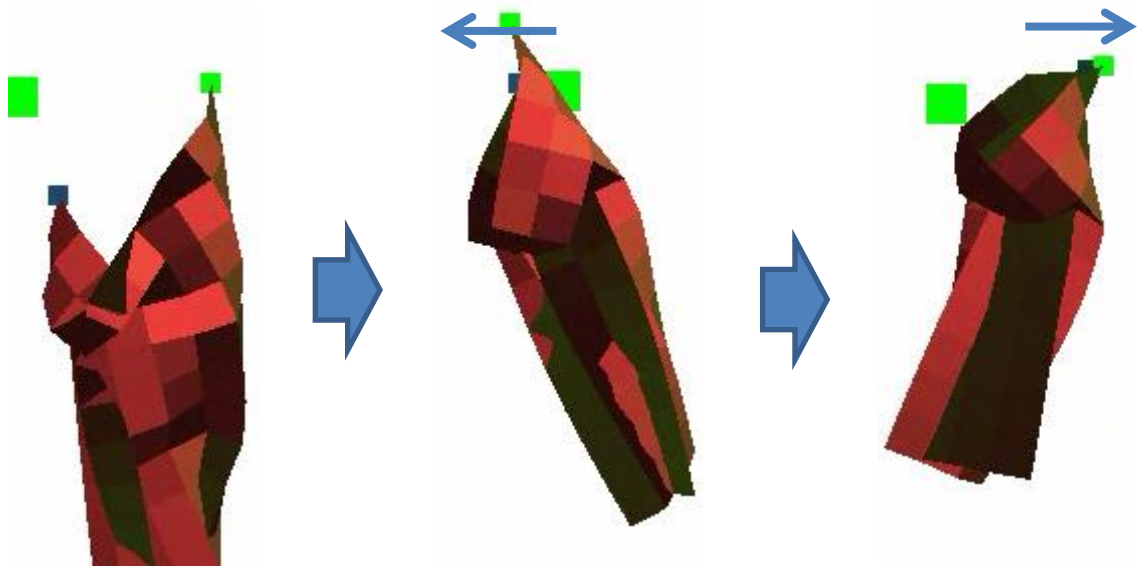


図 3-8 : 布モデルの移動操作

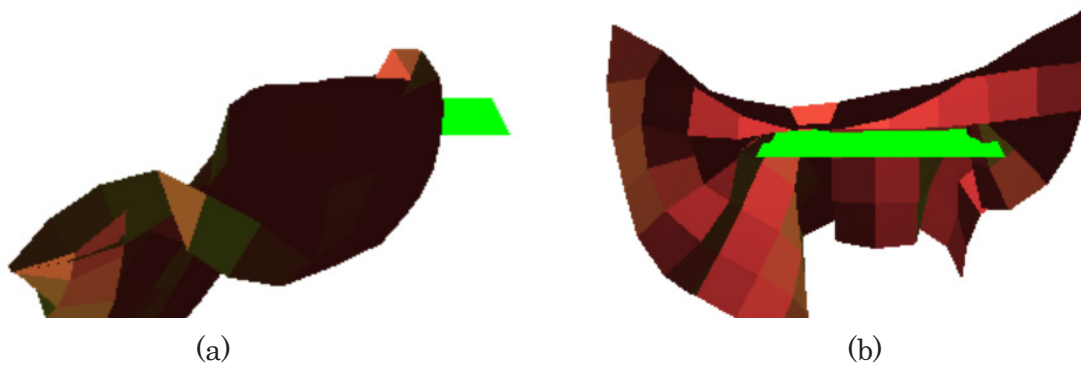


図 3-9 : 布モデルと物体モデルの衝突. (a) 左から布モデルかぶせた時の状態, (b) 後ろから布モデルを衝突させた状態.

(b) つまむ操作

初期状態 1 と 2 (3.2.2.1 布モデルを参照) において、布モデルの任意の位置をつまむ操作を行った。結果を図 3-10 に記す。つまむ操作では、任意の位置を手で固定することができ、つまむ操作の再現が可能であることを確認した。つまんだ後もつまんだ箇所を手の動きに従って動かすことができた。つまむ操作が終了するとつままれていた箇所の拘束は解かれ、他の質点と同様の振る舞いをした。そして布モデルは初期状態へと戻った。これらの結果から、一連のつまむ操作の流れを再現されていることが確認できた。また、この操作を繰り返し実行することにも成功し、今回行った操作全てにおいて任意の位置を指定してつまむことができた。

(c) 放す

放す操作を行った結果について述べる。初期状態 1 と初期状態 2 の両方の場合において本方法で放す操作が可能であることが確認することができた。初期状態 1 では、固定されている質点のうち一方を放すと重力によりその質点は下に落ちていき、布モデルは固定されている一点で吊るされている状態となった。また、初期状態 2 では、その固定されている質点の拘束を解くと、布モデルを固定している部分がなくなり布モデルは重力によって落ちていった。一方、繰り返し操作が可能であることと拘束を解く質点を選択することができるかを確認するため、複数の箇所を固定した布モデルも用意し放す操作を実行した (図 3-11)。その結果、固定された質点の拘束を解くとその質点は布モデルが安定した状態になるように他の質点と同様に動いた。また、固定されている質点を選択してその質点を放すこともできた。さらに、放す操作を繰り返していくと固定され



図 3-10 : つまむ操作



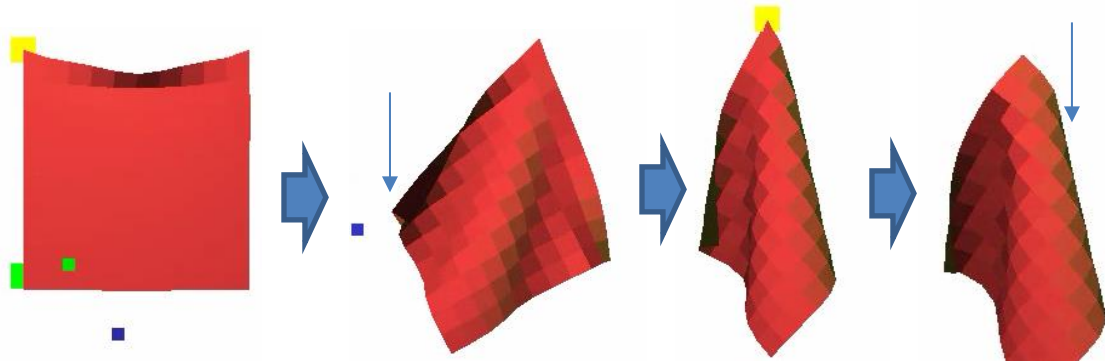


図 3-11 : 放す操作

ている質点がなくなり、全ての固定されている質点の拘束を解くと布モデルは落下していった。以上の結果より、布モデルの任意の固定位置を放すことに成功し、さらに、操作後、布モデルが自然な振る舞いに戻ったことも確認することができた。

#### (d) 留める操作

布モデルを物体に張り付ける操作では、布モデルをつまみ、その後つまんだ部分を物体モデルに張り付けるまでの一連の操作を行った。図 3-12 は張り付けの結果示している。操作結果より、2つの初期状態の両方の場合ともつまんだ箇所を物体モデルの任意の位置に張り付けることができた。物体モデルに留めた箇所はその後留められた場所に固定されたままであり、手の動きに従って動くことはなかった。しかし、布モデルを留めた箇所は、指定した場所とは少しずれてしまうことが度々あった。つまむ操作では、つまんでいた質点を物体モデルに固定する際、力学計算や相互作用の計算を数回行い、衝突しないところまで質点を移動させていた。この移動によりずれてしまったものと考えられる。

力学計算の回数を変更して留める操作を行った結果、図 3-13 のようになった。力学計算の回数が増えるほど指定した場所に近い位置に留めることができた。しかし、理論的には、計算回数を増やしても必ず指定した位置に近くなるとは限らないため、根本的な解決にならない。

留める操作を行う際、力学計算や衝突による計算を行った後固定を行っていたが、この順番を変えることで解消できる可能性がある。留める位置に布モデルを移動させた際、布モデルが大きく変形しその形状が力学計算に影響を及ぼしたということが考えられ

る。そのため、まずは衝突を考慮した移動を行わず、いったん指定した場所に布モデルを固定する。その状態で布モデルの安定形状を取得した後、衝突しない位置まで質点を移動させることで対処が可能であると思われる。



図 3-12 : 張り付けの結果

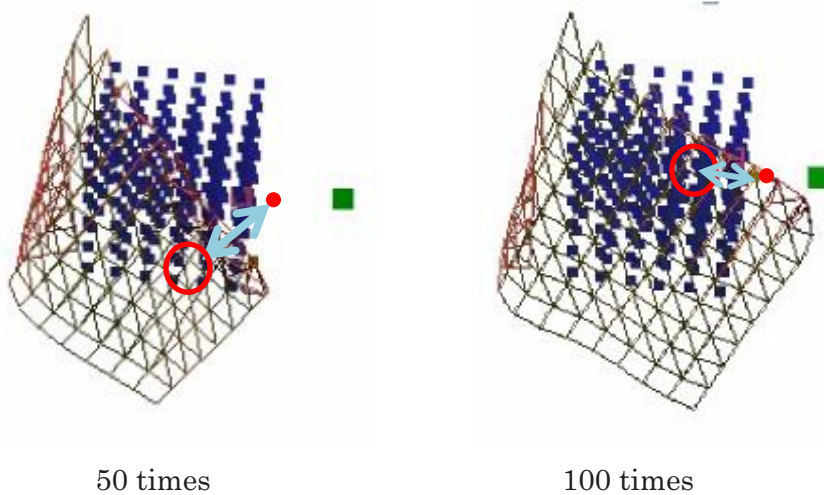


図 3-13 : 計算回数を多くして張り付け操作を行った結果

赤い円は質点が固定されている場所，ピンクの四角は指定された場所，赤い点は指定された場所から衝突しない位置に放された位置。

#### (e) 裁断操作

初期状態 1 の場合において布モデルの裁断を行った。裁断の操作では、作業工程が他の操作に比べて複雑であるため、まず予め設定した直線に従って布モデルの裁断を行い、この方法で布モデルが裁断できるか確認した。手の軌跡の代わりに設定した直線は、縦、横そして斜めの半直線と布モデルを完全に横切る水平直線の 4 種類である。切れ込みをいれた結果を図 3-14 に示す。この結果から、各直線に従って切れ込みを入れることを確認した。また、布モデルが裁断された後、裁断箇所の一部では質点の拘束がなくなり、それぞれの切り取り線の形に応じて布モデルが変形した。設定した直線が横または斜めの線の場合、切断箇所の質点どうしの接続が切れたことにより、固定されていない部分は重力に従って垂れ下がった形となった。縦の直線の場合は、裁断箇所では横方向バネによる拘束がなくなるため少し横に広がる形となった。これらの切れ込みによる布モデルの挙動は、現実世界でも同様の状況が見られるため妥当なものであると考えられる。一方、設定した直線が布モデルを完全に横切った場合、布モデルを完全に切り離すことができた。切り離された布モデルは重力に従って下に落下した。このことから、切り離された布モデルは 2 つの独立した振る舞いを示すことが確認された。これらの結果から、この方法により布モデルを裁断することが確認された。しかし、いくつかの切り取り線では計算が収束することができずに、布モデルが消滅してしまう場合があった。これは布モデルが急激に変形したために起きたと考えられる。そのため、この問題は力学計算の計算方法を変えることにより解決できると思われる。例えば、陰解法を用いるという方法がある。陰解法は、数値的に安定するが計算時間がかかるという欠点もある。本研究ではリアルタイム性を重視しているため陰解法を行っていなかったが、GPGPU を用いて並列処理を行い、計算時間を短縮することでリアルタイム性を向上することができると考えられる。裁断線に関して、布モデルは格子に沿って裁断されるため、切口が斜めの場合ギザギザした形になってしまう。実際の裁断線はなめらかな線になっているはずであり、ギザギザした裁断線だと衣服の完成形状に影響が出てしまう可能性がある。この課題を解決する方法としては、裁断時の手の軌跡を記憶しておき、実際に型紙や布モデルの表示にはその軌跡を使用することでなめらかな裁断線を再現し、布モデルの形状計算には簡略化されたギザギザな裁断線の布モデルを使用し計算時間を短縮する。他にも格子を三角形の形状にして格子に沿って裁断してもよりなめらかな形状を再現することが可能である。

裁断が可能であることが示されたため、次に実際の手の軌跡に従って布モデルを裁断した。裁断結果を図 3-15 に示す。この結果、手の動きに従って布モデルを裁断することが可能であることを確認することができた。上記の裁断結果と同様に裁断後も布モデルは自然な挙動をしていた。しかし、手がぶれて切り取り線が複雑になってしまうと布モデルがうまく裁断できない、または布が安定になり画面から消えてしまうというこ

とがしばしばあった。手のブレの原因は主に2つある。一つは、Kinectに関する問題である。取得した座標は、ノイズなどによりぶれることや異なる位置の座標を取得してしまうことがあるためである。この問題は、布モデルの切り口の形が限定的になってしまうことにも影響している。手の座標がぶれてしまうため単純な線をひこうとしても複雑な線になってしまう。まして細かい裁断箇所の指示や多様な形の手の軌跡を描くことがさらに難しい。そのため、どうしても似たような切り口でないと裁断ができなという問題が生じてしまう。この問題に関してはKinectのsmoothing機能を用いることにより、平滑化することで解決できると考えられる。そして、この問題が解決することにより、さらに様々な裁断が可能となると考えられる。もう一つの原因は、手の軌跡の取得開始と終了時に生じる手ブレである。開始と終了はキーボードのキーを押すことにより行う。つまり、軌跡を描く行為の他にキーボードを押す行為を同時に行う必要があり、このキーボードを押す行為がもう一方の手の動作に影響を及ぼしてしまう。それにより手がぶれてしまうのである。このことはつまむ操作、留める操作でも同様のことが言える。そのため現段階では、2人で役割分担（一人が手を動かし、もう一人がキー押すなど）をして操作を行ったほうが成功する可能性が高い。このことから、一人での操作は限度があり、正確に裁断等の操作を行うには2人で操作を行う必要があることが確認された。一人でこれらの操作を行うには、このキー操作による手のブレ問題を解消する必要がある。今後、この問題を解決するために、Kinectの音声認識機能を用いて音声により操作することを考えている。

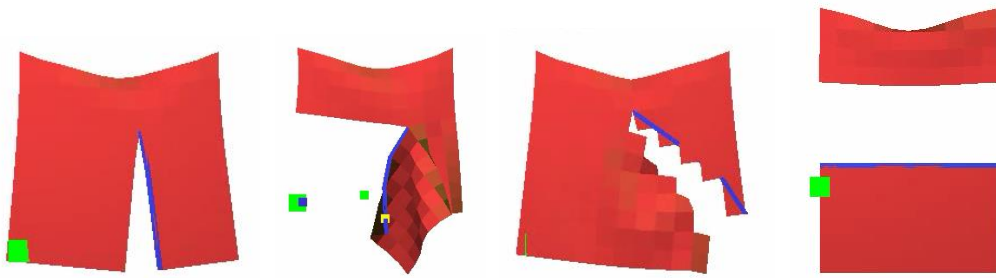


図 3-14 : 予め設定した軌跡に従って布モデルを裁断した結果

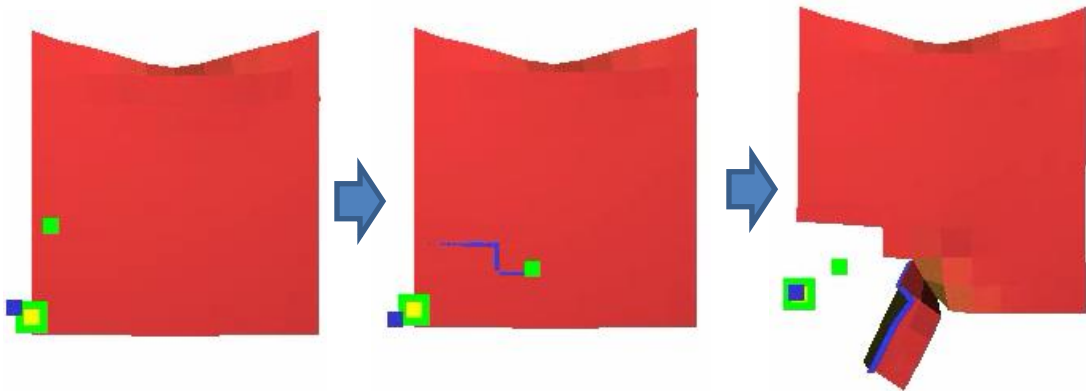
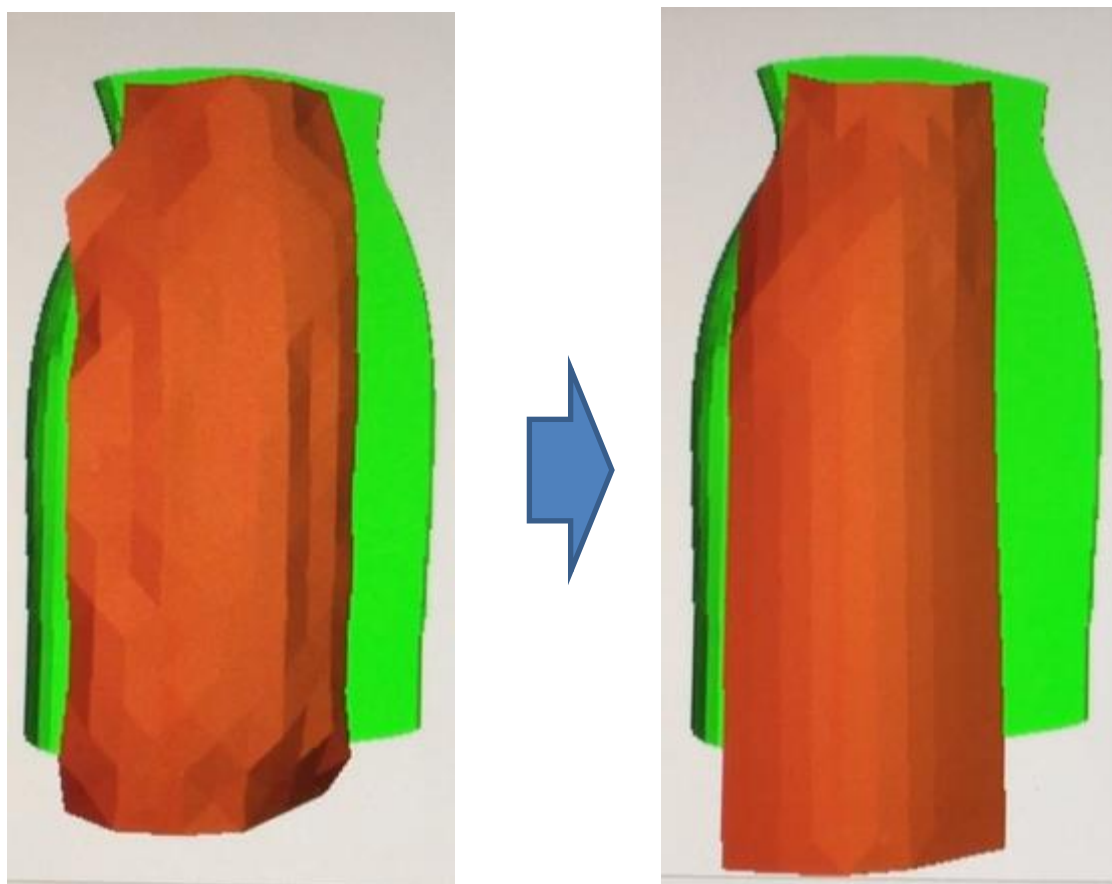


図 3-15 : 手の軌跡に従って布モデルを裁断した結果

(f) マッピング

人台モデルの中心線にあわせて布モデルをマッピングし張り付けた。操作の結果を図 3-16 に示す。緑の物体が人台モデルの下半身部分、赤い物体が布モデルである。マッピング直後は、大まかに人台に沿って形状をしていたが、その後力学計算を行うことにより人台に沿って滑らかな曲線の形状に変形した。布モデルの上端と中心線上のサイドラインは固定されているため布モデルは落ちずに人台に張り付いた状態となっている。中心線に沿って布モデルを張り付けることに成功した。



マッピング直後

力学計算を行った結果

図 3-16 : マッピング結果

#### (g) 組み合わせ操作

今回行った操作のうち、移動操作、つまむ操作、放す操作、留める操作、裁断操作を組み合わせで操作を行った。リアルタイムで複数の操作を組み合わせで行うことができるか確認するために、今回は留める操作を含む組み合わせ以外は布モデルのみが存在する空間で操作を行った。組み合わせた順番や操作の種類は留める操作と裁断操作を除き特に制限しなかった。今回は留める操作と裁断操作を組み合わせで操作を行わなかった。これは、留める操作と裁断操作は、布モデルが不安定になりやすい操作であるためである。そのため、今回は両者の組み合わせは行わず、他の操作において、組み合わせ操作が可能か検証を行った。組み合わせ操作を行った結果を図 3-17、3-18 に示す。

#### ・全体的な組み合わせ操作結果と考察

操作の順番や実行回数による他の操作への影響やリアルタイム性の影響について調べるために、様々な組み合わせで操作を行った。裁断作以外は、順番に関係なく操作することができた。また、一連の操作の中でつまむ操作、放す操作、移動操作は繰り返し実施することができた。さらに組み合わせの種類や回数による布モデルの挙動の遅延は認められず、リアルタイムで操作することができた。このことから、リアルタイム性は質点または節点数や衝突に大きく依存し、操作の種類にはさほど影響は受けないと考えられる。裁断操作または留める操作と組み合わせた場合、しばしば布モデルが不安定な状態となってしまう場合があった。布モデルが不安定な状態となる原因は、計算が収束しないことにあると思われる。この問題は、より収束しやすい計算方法に変えることにより解決できると考えられる。

#### ・同時組み合わせ操作

ある操作を実行中に他の操作も同時に実行可能かを確認するために、移動操作を実行中につまむ操作または放す操作を行った。結果、布モデルを移動させると同時に布モデルをつまむまたは放すことに成功した。その後も繰り返し移動操作の実行中につまむまたは放す操作を行うこともできた。つまむ操作を同時に行う際は、つまむ操作を維持しながら同時に移動操作も行えた。移動操作では布モデルの上端を手の位置に固定することにより布モデルを動かすが、一旦、放す操作で布モデルの上端の一方が放されてしまうと、再び移動操作を行ってもその放してしまった質点は手に固定されなかった。これは、放された質点が完全にフリーとなってしまうためである。しかし、もう一方の上端の質点を手に固定することはできるため布モデルを手の動きに従い動かすことができた。以上のように、複数の操作を同時に行うことができたことから、さらに実際の布の操作に近い操作ができると考えられる。ただし、放す操作とつまむ操作は同時に行うことはできない。現在、放す操作では右手に最も近い固定された質点を放し、つまむ操作

では右手に質点を固定して布モデルをつまむようになっている。そのため、つまむ操作の実行中に放す操作を行うと、右手に最も近い固定された質点は、手につままれている質点となってしまう、その質点はつまむ操作により固定された状態を維持し続ける。この矛盾により操作ができなくなってしまうのである。この問題は条件(例えば、つまむ作業の際はつままれている質点以外の質点の拘束を解くなど)を付け加えることにより解決できる

#### ・裁断操作の組み合わせ

裁断を含む組み合わせ操作の結果、初めに布を裁断した後つまむ操作や移動操作を行うことに成功した。裁断後も、裁断された状態を維持したまま図 3-18 のように操作することができた。また、裁断後の布モデルでも移動動作と同時につまむ操作や放す操作を行うことができた。しかし、裁断操作を他の操作を行った後で実行した場合、裁断がうまくいかず失敗してしまった。これは、切り取り線がうまく取得できなかったため失敗したと考えられる。切り取り線を取得できない理由は、上記で説明した手ブレによる原因もあるが、そのほかに裁断法の性質が影響している可能性がある。手の軌跡を布モデルに対応する際、手の座標に最も近い布モデルの質点を算出している。そのため、布モデルのドレープが大きい場合や布モデルが 2 重になっている場合は、うまく布モデルに対応付けることができず、切り取り線が算出できないと考えられる。移動操作や放す操作の後には布モデルが大きく変形している場合が多い。そのため切り取り線が取得できなかったと考えられる。この問題は、切り取り線取得後に裁断位置を修正する機能を付けることにより解決できると考えられる。つまり、ドレープが大きい箇所や 2 重に重なっている箇所ではいくつかの質点を裁断位置の候補としてユーザに示し、選択してもらう。



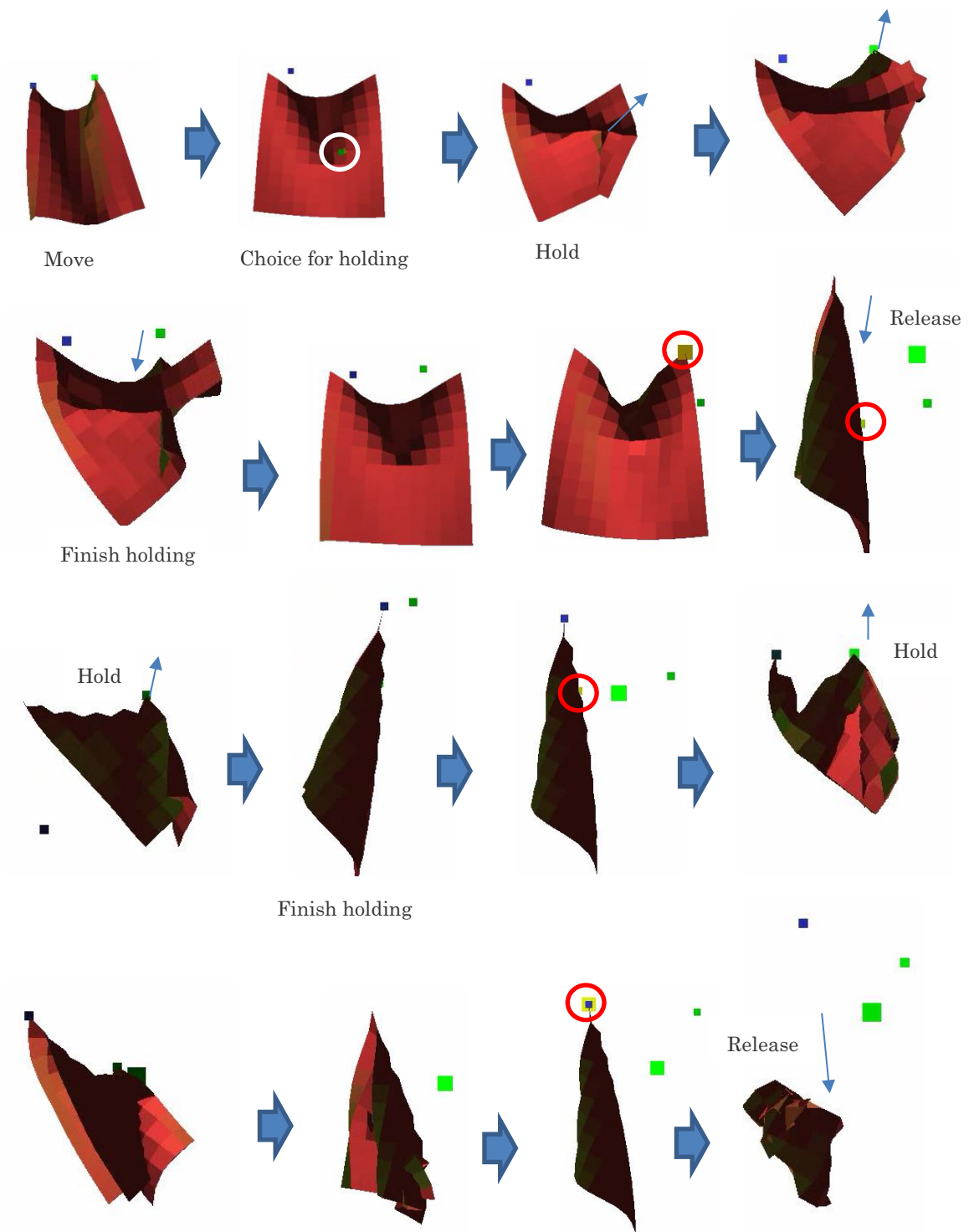


図 3-17 : 組み合わせ操作 No.1 (移動, つまむ, 放す)

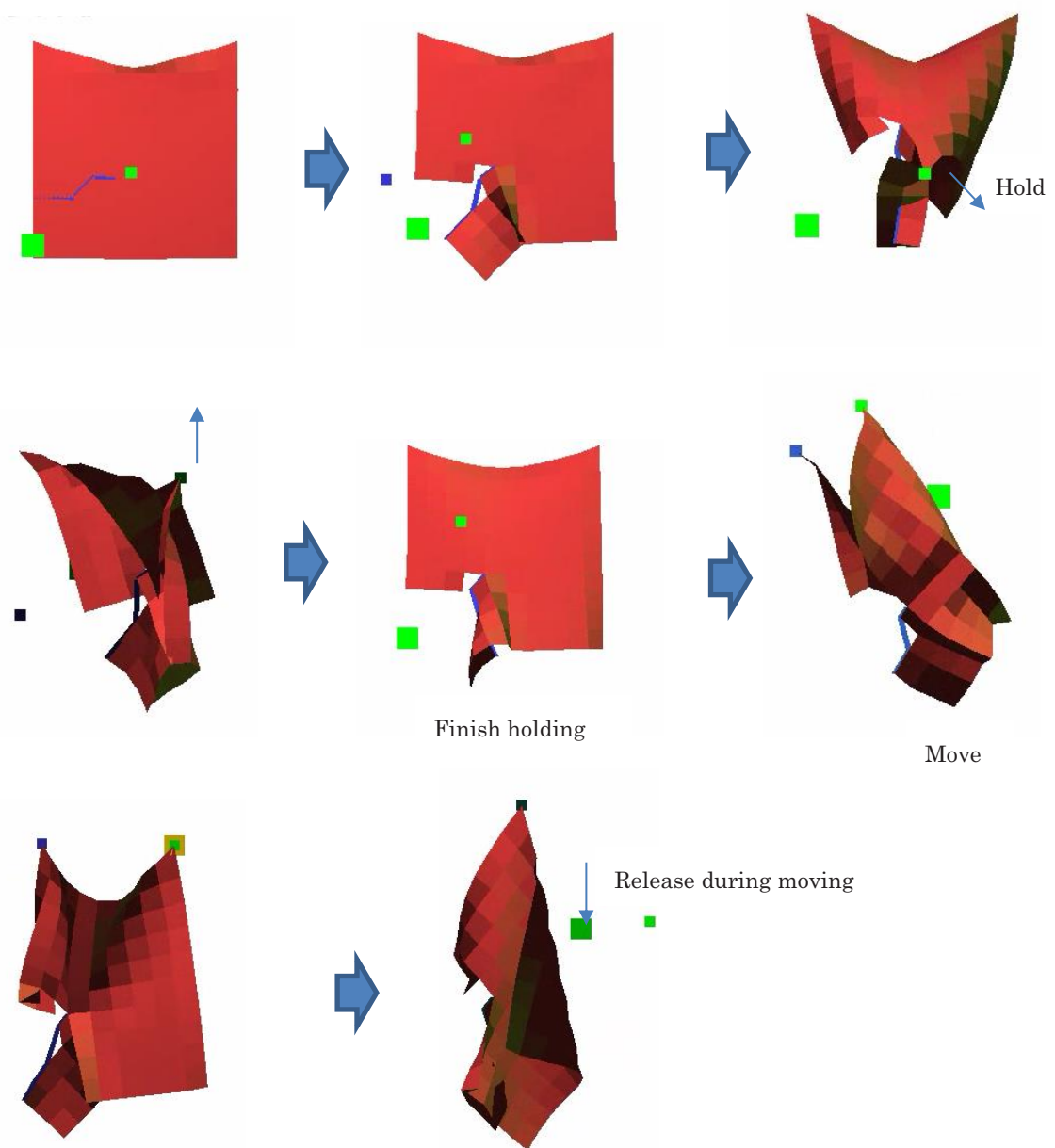


図 3-18 : 組み合わせ操作 No.2 (移動, つまむ, 裁断)

以上全ての結果より、いくつか課題が残るものの、この操作方法を用いてユーザの意図通りに布モデルを操作することが可能であることを確認することができた。さらに、同時に他の操作を実行することが可能であるため、日常の動作に近い形で布モデルを操作することが可能である。操作方法はいたってシンプルなため、ユーザは容易にまた直感的に操作ができると考えられる。また、立体裁断に必要な基本的な操作を組み合わせで使用することができるため、仮想立体裁断への応用が可能であると考えられる。一方、立体裁断以外にも、仮想空間上の布の力学特性を視覚的に判断するためのインターフェースとして用いることも可能であると考えられる。また、仮想空間上の衣服の変形シミュレーションにも応用できると考えられる。今後、これらの操作を用いて簡単な衣服を作成する予定である。これが成功すれば、その衣服形状から型紙を作成できる可能性が広がり、仮想立体裁断の実現がより強く期待できる。

### 3.4 まとめ

本章では、仮想立体裁断のためのリアルタイム布モデル操作について記述した。この操作の特徴は現実世界の手の動きによって布モデルをリアルタイムに操作する点である。従来の布モデル操作は、インターフェースとして2次元入力デバイスを用いたものが主流であった。しかし、ジェスチャを用いた操作のほうがより現実的な感覚で操作が可能であると考えられる。そこで、本研究では手の動きによる布モデル操作を行った。

モデルはバネ質量モデルであり、Kinect で取得した手の座標を用いて布モデルを操作する。手の動きは Kinect というセンサによって取得した。用いた布モデルは質点バネモデルであり、力学計算と衝突判定・反応が定義されている。今回行った操作は「移動」、「つまむ」、「放す」、「留める」、「マッピング」、「裁断」の6つである。マッピング以外の操作はキーボードのキーを押すことにより組み合わせる操作できるようになっている。さらに操作によってはキーを押すことで布モデルの位置を選択することができる。各操作方法は以下のとおりである。

移動操作は、布モデルの上端を両手に固定する。移動操作終了後、布モデルはその場に留る。つまむ操作は、手の座標に最も近い質点を手の位置に固定することにより行う。放す操作は固定されている質点の内、手に最も近い質点の固定を外すことにより行う。留める操作では、手に最も近い物体モデルの節点から少し離れた位置に固定し、布モデルを留める。マッピング操作では、各質点に対応する人台モデルの位置に質点を移動させ、その後力学計算等を行う。裁断操作では、手の軌跡から切り取り線を算出し、ついで裁断を行う。裁断は、新しく作成した質点にバネを付け替えることにより行う。

各操作を行った結果、全ての操作が本方法で実行可能であることを確認することができた。組み合わせ操作では、最も多くて移動操作、つまむ操作、放す操作そして裁断操作の4つの操作を組み合わせることに成功した。これらの結果から、手の動きによって布モデルを操作し、それによって立体裁断が行える可能性を確認することができた。

この操作は、よりリアルな仮想立体裁断へ応用できる。これが実現することができれば、立体裁断の実践的なトレーニングに役立つ。今後、この方法を用いて簡単な衣服の作成を行う予定である。衣服だけでなく、サポータの設計やや怪我の治療トレーニングなど医療への応用も期待できる。さらに、この方法を他の物体に用いることができれば、インターネットなど実物を直接見ることができない場合に、PC上の物体を操作して視覚的に物体の動的な挙動などの情報を提供できる。このように、本方法は、快適な衣服作りに大きく貢献することができると考えられ、さらに様々な分野への応用が期待できる。

# 第 4 章 結言

本論文では、より現実の立体裁断を行う感覚に近い形での仮想立体裁断を実現するために、2つの研究を行った。本章では、これらの研究により得られた結果を各章ごとにまとめながら本論文の総括を行う。

第1章では、背景、立体裁断についての説明、関連研究、目的について述べた。衣服のフィット性は、動作の快適性、着心地そして体に大きな影響を与える。そのため、着装者の体型を考慮した衣服の作成は非常に重要であると言える。衣服の形状やサイズに大きく影響を与えるのが衣服の原型である型紙である。型紙の作成方法の一つに立体裁断がある。この方法は、人台に布を張り付け衣服形状を作成した後、型紙を作成する。立体裁断には様々な利点あり、中でも注目すべきは身体にあった衣服を作ることができるということである。しかし、この方法にはコストや時間がかかるという欠点がある。そのため、立体裁断を仮想化し型紙をより効率よく低コストで作成する研究がされている。様々な仮想立体裁断方法が提案されている中、実際の立体裁断の手順を再現した仮想立体裁断方法は少ない。我々は、実際の立体裁断方法に基づいたより直感的で効率のよい仮想立体裁断方法を考えた。この仮想立体裁断方法を確立させるために、マッピングによる仮想立体裁断方法と手の動きを用いた布モデル操作の2つの研究を行った。

第2章では、マッピングによる仮想立体裁断方法の研究について記述した。他の立体裁断の研究では、人台モデルの周りに直接布モデルを作成しそれを変形させることにより、または人台モデル直接変形させて衣服形状を作り型紙を作成していた。しかし、実際の立体裁断では、人台に布を中心線などの線に布目が合うように張り付け、その後衣服形状を形成し型紙を作成する。我々はその点に着目し、マッピングによりその工程を考慮した立体裁断方法を提案した。今回はこの方法を用いてタイトスカートの型紙を作成し、実際にその型紙からタイトスカート作成することができた。さらに、仮想空間上でこの型紙からスカートの完成形状をシミュレーションした結果、実物と同様の形をしたスカートをえることができた。これらの結果より、実際の立体裁断の過程を再現することにより型紙を作成することができることが確認された。このことから、他の衣服への応用も期待できる。課題としては、三次元空間上で衣服を作成する際に編集が行えないことが挙げられる。今後、何らかのインターフェースを用いて三次元の衣服モデルまたは布モデルを編集する機能を追加する予定である。

第3章では、手の動きによるリアルタイム布モデル操作の研究について述べた。この操作は、従来のマウスなどによる操作とは異なり、手の動きにより布モデルを操作する。今回提案した操作は立体裁断に必要なと思われる基本的な6つの操作であり、これらの操作のうちマッピング以外は組み合わせで行うこともできる。さらに、移動操作の実行中に放す操作またはつまむ操作を行うことができる。裁断の切り取り線の取得や留める操作の正確性そして力学計算について課題が残ったが、いずれも解決可能であると考え

られる。これらの結果より実際の布の操作と近い操作状況を作り出し、より自然な布モデル操作を行うことに成功した。さらに、この方法を用いて仮想立体裁断を行える見通しを付けることができた。

以上の結果から、より実際の立体裁断を再現した仮想立体裁断に有意義なシステムを構築することができた。これらの方法は仮想立体裁断への応用を含め様々なことに応用が可能である。仮想立体裁断に本方法を応用した場合、実際の立体裁断の工程も考慮されているため、各工程における衣服形状や布の形状をシミュレーションすることができる。さらに作成した衣服形状も布単位でシミュレーションが可能である。そして、型紙の細かな部分まで再現できると考えられる。また、各工程における衣服圧や衣服内環境、布モデル変形、力の分布などのシミュレーションへ応用できると考えられる。手順まで再現できるインタラクティブな仮想立体裁断は、教育の現場でも効果を期待できる。立体裁断の練習や様々なデザインやアイデアの推敲作業では繰り返し衣服を作製したりサンプルを多数作製したりする必要があり、布の表現も重要となってくる。その際にこの方法を用いることができれば、さらに効率よくまた技術の上達に役立つと考えられる。一方、本研究で提案した方法はどちらも、布モデルの変形を基礎としたシステムとなっている。そのため、非常に汎用的な性質を持っている。つまり布やそれに類似する物質を用いている製品に関して様々な応用が可能である。例えば、サポータやコルセットなど、フィット性が重要な繊維製品の製作にも応用が可能であると考えられる。そのため、今後、これらの方法が確立することができれば様々な分野への応用が可能となり、大きなメリットとなると考えられる。

## 謝辞

本論文を作成するにあたり、多くの方々からご指導、ご協力をいただきました。特に、先鋭領域融合研究群国際ファイバー工学研究所の乾滋教授には、修士課程および博士課程での研究並びに学会発表そして論文作成にあたり根気強く多大なご指導をいただきました。心より感謝申しあげます。また、本研究を進めるにあたって沢山のアドバイスをしてくださった信州大学繊維学部先進繊維・感性工学科の先生方に感謝いたします。特に、学会等でお世話になりました高寺政行教授そしてキム・キョンオク助教に深く感謝致します。また、堀場洋輔助教そして佐古井智紀講師には研究室ゼミ等でお世話になりました。ありがとうございました。森川英明教授には予備審査及び本審査にてお世話になりご助言を頂きました。感謝申し上げます。また、相談等に乗ってくださった上條正義教授、田中稔久准教授に感謝いたします。

華頂短期大学の乾眞理子准教授には、立体裁断の手法や技術、型紙に関するアドバイスさらに衣服作成においもお力添えを頂き大変お世話になりました。心より御礼申し上げます。また、共立女子大学の宮武恵子教授おかれましては本審査にてお世話になり、ご助言を頂きました。ありがとうございました。

研究を進める上で、暖かい励ましとご指導をいただきました信州大学繊維学部清水義雄特任教授名誉教授に深く御礼申し上げます。また、いつも励まして元気をくれた友達に心より感謝致します。

お世話になりました信州大学繊維学部の方々、特に感性工学課程 5 階の皆様、同じ博士課程の皆様そして学務の皆様感謝致します。

最後に、いついかなる時も暖かく見守り、そして支えてくれた家族に心から深く感謝致します。

本研究は JSPS 科研費 JP16K16259 および Grants-in-Aid for Scientific Research (No. 24220012, 26350069) from the Ministry of Education, Science, Sports and Culture and Grants for Excellent Graduate Schools, MEXT, Japan の助成を受けたものです。



## 参考文献

- [1] 原田隆司, (1996)「着ごちと科学」, 株式会社裳華房
- [2] 渡辺ミチ, 田村照子, (1976)「衣服圧が身体に及ぼす影響(第3報)―幹部衣服圧と内臓の変位変形について―」, 家政学雑誌, Vol.27, No.1, p44-50
- [3] 田村照子, (2013)「衣服と気候」, 株式会社成山堂書店
- [4] 日本衣料管理協会刊行委員会編著, (2006)「新版 消費科学 ―衣生活のための―」, 改訂版, 日本印刷株式会社
- [5] 衣服の使用実態調査, 一般社団法人日本衣料管理協会,  
<http://www.jasta1.or.jp/research/research-report/research-h24.html>, (参照  
2014-11-21)
- [6] 諸岡晴美, 藤原康晴, 船津美智子ほか, (2010)「異なる季節・地域における望ましいユニバーサル・ファッション提案のための着衣に関する研究 ～衣服購入の動機と既製服サイズの問題点についての高齢者と若齢者の違い～」, 被服衛生学, Vol. 30, pp. 16-23
- [7]文化服装学院編, (2001),「文化ファッション大系 アパレル生産講座③ 立体裁断基本編」, 文化服装学院 教科書出版部
- [8]Young Sook Cho, Takuya Komatsu, Masayuki Takatera, Shigeru Inui, Yoshio Shimizu, Hyejun Park, (2006), "Posture and depth adjustable 3D body model for individual pattern making", International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 18 Iss: 2, pp.96 – 107
- [9] 柿沼 よしえ, 堤 江美子, 近藤 邦雄, 三谷 純, 宮原 進, 鈴木 浩之, 飯田 芳幸, (2006),「高齢者の人台モデルを用いた衣服設計システムの開発」, 図学研究 Vol.40, No.Supplement2, pp.45-50,
- [10] Cho, Y., Komatsu, T., Inui, S., Takatera, M., Shimizu, Y., Park, H. (2006), "Individual Pattern Making Using Computerized Draping Method for Clothing", TEXTILE RESEARCH JOURNAL, Vol.76, No.8, pp.646-654
- [11] Wang, J., Lu, GD., Li, WL., Chen, L., Sakaguti, Y. (2009), "Interactive 3D garment design with constrained contour curves and style curves", COMPUTER-AIDED DESIGN, Vol.41, No.9, pp.614-625
- [12] Huang, HQ., Mok, PY., Kwok, YL., Au, JS. (2012), "Block pattern generation: From parameterizing human bodies to fit feature-aligned and flattenable 3D garments", COMPUTERS IN INDUSTRY, Vol.63, No.7, pp.680-691
- [13] Wibowo, A., Sakamoto, D., Mitani, J., Igarashi, T. (2012), " DressUp: A 3D Interface for Clothing Design with a Physical Mannequin", Proceedings of The 6th

International Conference on tangible, embedded and embodied interaction (TEI 2012), Ontario, Canada, Feb.19-22, 2012, pp.99-102.

[14] In H. S., Tae J. K. (2006), "Interactive garment pattern design using virtual scissoring method. International Journal of Clothing Science and Technology" Vol.18, No.1, pp.31-42

[15] Meng, Y., Mok, P.Y., Jin, X.. (2012), "Computer aided clothing pattern design with 3D editing and pattern alteration", Computer-Aided Design No.44, No.8, pp.721-734

[16] Inui, S., Yamanaka, T. (1998), "Seam pucker simulation", International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 10, No. 2, pp. 128-142.

[17]Okabe, H., Imaoka, H., Tomiha, T., Terao, M., Yamada, M., Shibuya, A., Akami, H., Aisaka, N. TRANSFORMATION FROM RAPER PATTERN TO SPATIAL STRUCTURE OF DRESS BY COMPUTER – SIMULATION OF SEWING AND DRESSING, Sen'i Gakkaishi 1988 ; 44(3): pp.129-136

[18] Okabe, H., Imaoka, H., Akami, H. PAPER PATTERNS OF DRESS FOR 3-DIMENSIONAL CAD/CAM AND THEIR AUTOMATICAL DIVISION INTO FINITE ELEMENTS, Sen'i Gakkaishi 1986 ; 42(4): pp.231-239

[19] Igarashi, T. and Hughes, F. J. (2003), "Clothing Manipulation", ACM TRANSACTIONS ON GRAPHICS, Vol. 22 Issue: 3, pp. 697-697

[20] Satoh, K., Yamamoto, T., Matsuyama, K., Konno, K. (2012) "Rokuro : Implementation and Examination of Gestural Modeling Interface", IPSJ Interaction, Vol.2012 No.3, pp.771-776.

[21] Liang, S., Baciu, G., Li, RH., Jia, JY., Zhang, JH. (2013) "Recommendation in Motion: Intelligent Hypertouch Garment Design", ADVANCES IN MECHANICAL ENGINEERING, Vol.610604.

[22] Nakamura, K., Saito, S., Miyagi, H. (2012), "The KINECT for Windows SDK programming for C++", SHUWA SYSTEM CO.,LTD, Tokyo.

[23] 原田隆宏, 越塚誠一, (2007)「布と高解像度のモデルとのリアルタイム衝突計算」, 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 4, pp. 1829-1837

[24] Dong, Z., Chen, W., Bao, H., Zhang, H., Peng, Q. (2004), "Real-time Voxelization for Complex Models", *Proc. 12th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications*, pp 43-50

[25] Fuhmann, A., Gros, C., and Luckas, V. (2003), "Interactive animation of cloth including self collision detection", *Proc. WSCG*, pp. 141-148

[26] Fuhmann, A., Sobottka, G. and Gros, C. (2003), "Distance fields for rapid collision detection in physically based modeling", *Proc. Graphi Con*, pp. 58-65