

コンピュータを用いた手芸設計支援に関する研究

東京大学大学院工学系研究科 先端学際工学専攻 博士課程 3年

五十嵐 悠紀

1. はじめに

裁縫や編み物といった手芸の分野では専門家がデザインした型紙や編み図を利用して手作りの作品を作ることが多く、素人が形状を自らデザインし、それに沿った作品を作るとは難しい。これはできあがりの3次元形状を想像しながら、2次元の展開図(型紙や編み図)をデザインすることの難しさを表しており、これは熟練者であっても、試行錯誤を繰り返しながら時間をかけて手作業で行う作業である。

本研究ではコンピュータを用いることで、このような手芸作品の設計を支援する研究を行った。主にターゲットとするユーザは主婦や子供たちで、このような初心者でも自らがデザインしたぬいぐるみやあみぐるみの形状の型紙や編み図を得ることに成功した。ワークショップやユーザスタディを行い、初心者での評価実験および調査も行うことで、一般のユーザには難しかった手芸作品をデザインするという過程を効率的に支援できることを確かめた。

本稿では次章で本研究の目的を述べ、第3章で具体的に個々のシステムについて述べる。第4章では本研究を通して得られた知見を元に初心者向け手芸設計支援システムの要件をまとめる。第5章に全体のまとめと今後の展望を述べる。

2. 本研究の目的

本研究では、手作業が主である手芸の分野に、コンピュータを取り入れることによって、**熟練者しか作成することのできなかつたオリジナルの手芸作品を主婦や子供たちなどの素人がデザインし製作することを目標**とした。提案手法を実装したシステムを用いて、実際に一般ユーザに使ってもらうためにワークショップの開催やユーザスタディにおけるシステム評価なども行った。

「手芸」とは個人的に趣味で行う創作活動のことで、机の上で細かい手作業で行われることが多く、裁縫、編み物などが代表例である。このほかにも、刺繍、レース、染物、トールペイントなど多様な手芸が存在する。このような手芸は、「一般ユーザが理解できる図面」を用いて作品を製作していく。例えば、裁縫では型紙が、編み物では編み図が用いられる。本研究では手芸の中でも、

できあがりか 3 次元形状である「裁縫」および「編み物」を取り上げる。これらは 3 次元形状を想像しながら、対応する図面を 2 次元でデザインしていかねばならず、初心者がデザインすることは非常に難しく、現状ではほとんど行われていない。

生活の中で身近な 3 次元物体である「ぬいぐるみ」「あみぐるみ」「カバー」の設計支援に着目し、この工程をコンピュータで支援することで素人でも簡単に自分だけのオリジナルな手芸作品がデザインできるようにするシステムを構築した。学術的には通常 3 次元モデリングとシミュレーションは別々の過程で行われるが、我々はモデリングを行いながら並行してシミュレーションを行うことで、布や毛糸の特性を活かしたモデリングを効率良く行うことができることを提案した。スケッチインタフェースと物理シミュレーションを融合したモデリングツールをいくつか提案することで本手法の有効性を示した。

3. 初心者向け手芸設計支援システム

本章では具体的な 5 種類の応用例を挙げ、これらのプロトタイプシステムを開発し、検証を行ったので紹介する。ぬいぐるみ、あみぐるみ、カバーなど身近な素材を扱った。

3.1 Pillow: ぬいぐるみ作成のためのインタラクティブな型紙デザイン

既存の 3 次元サーフェスモデルを入力として、ユーザがモデルの表面形状に沿って縫い目を描くと描かれた縫い目を元にシステムがぬいぐるみに適した 2 次元の型紙を生成するシステム Pillow[1]をデザイン・開発した(図 1)。入力される 3 次元モデルは布で作られているということを考慮していない形状であるため、布の伸縮を考慮せずに出力された型紙を実際に縫い合わせたぬいぐるみ形状は入力モデルと比較すると大きな差異が生じる。そのため、自動生成された型紙を使って縫い合わせ綿をつめた結果の形状をシミュレーションする。これによりユーザは、実際に作る前に出来上がりのぬいぐるみ形状を検証することが可能となり、本システムでユーザはコンピュータ上で試行錯誤をした上で実際にぬいぐるみを作成することができる。



図1 : Pillow システムの概要.

3.2 Plushie: インタラクティブなぬいぐるみデザイン

手書きスケッチを利用したモデリング操作によって、ユーザが希望するぬいぐるみの形状を対話的にデザインしていくシステム Plushie[2]をデザイン・開発した(図2)。このシステムはユーザが入力した形の輪郭線と物理的制約を元にぬいぐるみになる形状の3次元モデルを生成する。対応する型紙はユーザが形状を変更するたびにリアルタイムに更新される。ユーザの入力をそのまま型紙にしてしまうと裁縫してできる形は一回り小さくなってしまうため、全体の整合性を保たせながら、物理シミュレーション結果がユーザの入力した外形に一致するような型紙を自動生成する。PCおよびぬいぐるみ作成の初心者ユーザをターゲットにしたシステムということで、小学5年～中学生の子どもたちを対象に日本科学未来館にてワークショップを行い、我々のシステムを利用して子どもたちでもオリジナルなぬいぐるみをデザインできることを確認した(図3)。

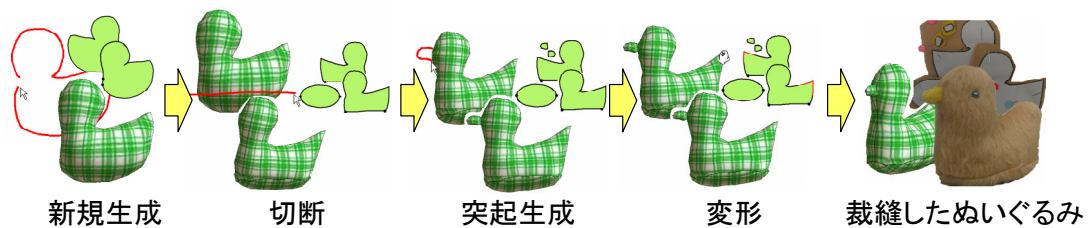


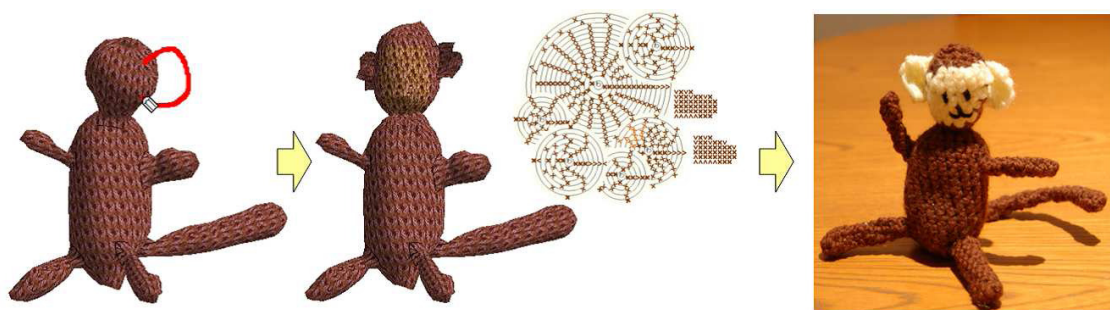
図2 : Plushie システムの概要.



図3 : Plushie を用いたワークショップ.

3.3 Knitty: あみぐるみのための 3次元モデリングと制作支援インタフェース

“あみぐるみ” は毛糸を使って作るぬいぐるみであるが、毛糸の編み方によって形状をデザインしていくため、初心者にはデザインすることが困難である。我々は 3次元モデリングプロセスにインタラクティブな物理シミュレーションを組み合わせることであみぐるみを効率的にデザインできるモデラーKnitty[3]を作成した。システムの概要を図 4 に示す。編み図とはあみぐるみを作成するためのパターン図のことで、円状に編み目の記号を並べることで表現される。ユーザはマウスやペンタブレットなどを使ってキャンバスにあみぐるみの概形を描く。システムは入力されたストロークを元に自動で編み図を計算し、その編み図を元に編み上げた 3次元形状を物理シミュレーション結果として提示する。本章ではユーザに提供されているモデリング操作を順に説明する。本システムはモデリングの初心者ターゲットユーザとするため、モデリングの知識や経験がなくとも簡単に 3次元をモデリングできる Teddy [4]のユーザインタフェースを利用している。本システム初心者にも直感的にデザインでき、編み図も容易に得ることができる。また、初めてあみぐるみに挑戦する初心者でも作成手順を容易に理解できるようにするために、製作手順を視覚的に提示する製作支援インタフェースも備えた。あみぐるみ初心者でも容易にオリジナルなあみぐるみを作成できることを確認した。



(a) スケッチ入力 (b) 自動生成されるあみぐるみモデルと編み図 (c) あみぐるみ
図 4: 本システムの概要. (a) ユーザはスケッチインタフェースを用いてあみぐるみモデルをデザインする. (b) システムは編み図とその編み図を元に構成できる 3次元モデルを提示する. (c) システムが提示した編み図を元に実際に編んだあみぐるみ.

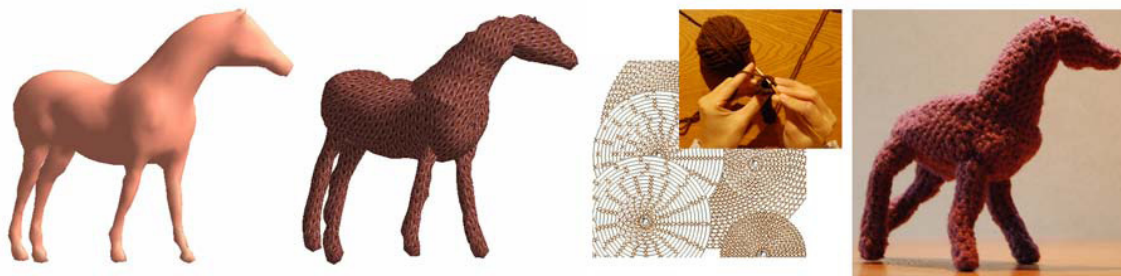
Plushie[2]と同様に小学 5 年～中学生の子どもたちを対象に日本科学未来館にてワークショップを行い、本システムを利用して子どもたちでもオリジナルなあみぐるみをデザインできることを確認した(図 4).



図 5: Knitty[3]を使ったワークショップで子どもたちがデザインしたあみぐるみ.

3.4 3次元モデルからのあみぐるみ作成

前節で紹介したシステムは何もないところからあみぐるみモデルをデザインする手法である. これに対して, 本節では, 3次元サーフェスモデルからあみぐるみを作成するための編み図を生成するシステム[5]を紹介する. 本システムは3次元モデルを入力として, あみぐるみにするための編み図を生成する. 自動生成した編み図を元にシミュレーションを適用することで, あみぐるみ完成予想モデルをユーザに提示する. ユーザは生成された編み図を編むことで実世界にあみぐるみを作成できる.

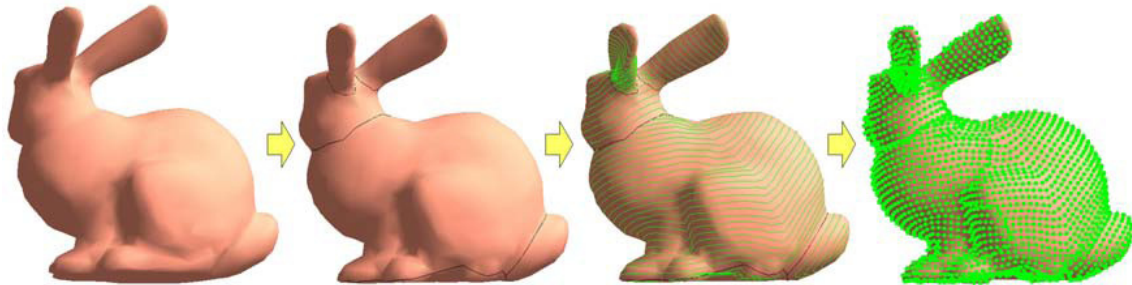


(a) 3次元モデル (b)あみぐるみモデルと自動生成された編み図 (c) 実際に編んだ結果

図 6: 3次元モデルからのあみぐるみ生成システム[5]の概要.

本システムは3次元モデルへ等幅のストリップを巻きつけ, 得られたストリップを等幅でサンプリングすることで, 編み図へと変換する. まず入力モデルに対して領域分割を手動もしくは自動で行い, それぞれのパーツに分解する(図 7b). それぞれのパーツに等幅のストリップを巻きつけ(図 7c), 得られたストリップを等幅でサンプリングする(図 7d). それぞれの頂点をエッジで接続してメッシュを生成し(図 7e), それを元に編み図を生成してあみぐるみシミュレーション

ョンを適用することであみぐるみモデルを構築する(図 7f). 図 8 にコンピュータグラフィックスの分野で有名な 3 次元モデルを利用して, 実際にあみぐるみにした例を紹介する.



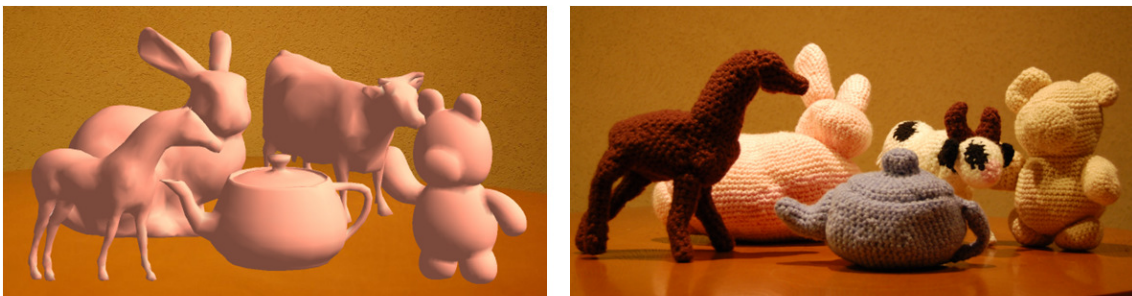
(a) 入力した 3 次元モデル (b) 領域分割 (c) 等値線の計算 (d) 等値線のリサンプリング



(e) メッシング

(f) シミュレーションと編み図生成

図 7: システム[5]のアルゴリズム.



入力モデル

実際にあみぐるみ

図 8: システム[5]を使用して作成したあみぐるみ.

3.5 機能性を考慮したインタラクティブなカバーデザイン

本節で紹介するのは既存 3 次元モデルを用いたインタラクティブなカバーデザインシステム[6]である. カバーは物体を包みこめなくてはならず, 取り出し口も中身が取り出せる形状でなければならないという制約があるため, 初心者がカバー形状をデザインすることは難しい. 本システムは入力モデルに対して

カバー形状を計算し、いくつかの領域に分割する。ユーザは領域分割線を手動で編集することもできる。次にユーザは領域分割線に取り出し口をデザインする。システムは取り出しテストを行うことでユーザのデザインした取り出し口からモデルを取り出すことが可能か否かを判定して提示する。カバー形状は図 10 のように全体を覆う **convex hull** カバーと下があいている **draping** カバーの 2 種類を用意した。

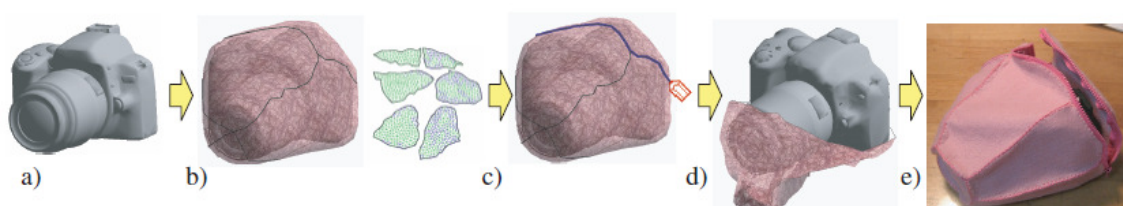


図 9: システムの概要 : (a) 入力 3 次元モデル; (b) カバー形状の領域分割と縮まらない展開; (c) 取り出し口をユーザがデザイン ; (d) 取り出しテスト; (e) 生成された型紙で実際に作ったカバー。

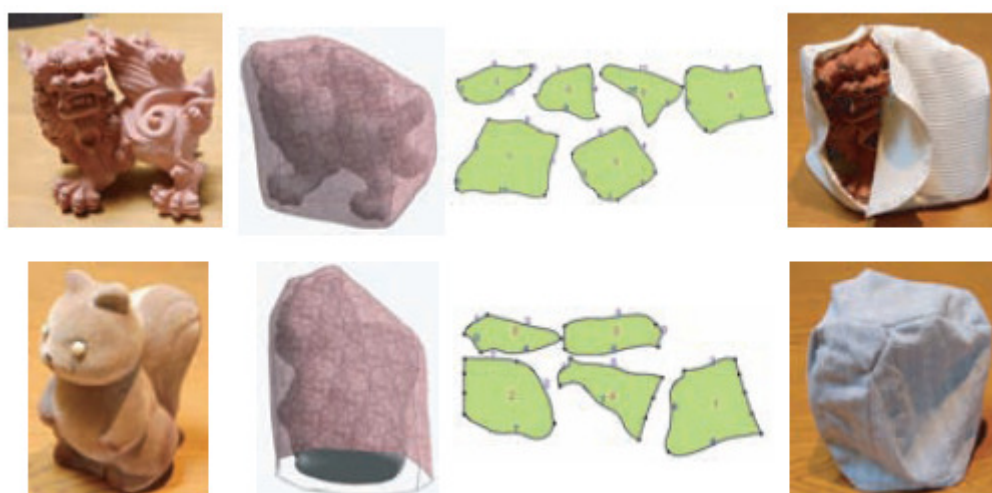


図 10: 本システムを利用して作成した実際のカバーの例。シーサーの **convex hull** カバー(上段)とリスの **draping cover** (下段)。

このシステムでの技術的な貢献を以下に 2 点挙げて紹介する。

縮まらない展開手法 : 技術的な貢献の1つである本提案手法はカバー生成のための新たな展開手法であり、3次元のエッジの長さよりも展開後の2次元エッジの長さのほうが必ず長くなるような制約付きの展開手法である。3次元モデルの表面よりも小さい型紙では包めない領域ができてしまう。また、大きすぎる型紙では余分なしわができてしまう。システムは最初に通常の手法で展開をして、

その結果を用いて短いエッジに制約をつけて繰り返し展開していくことで短いエッジをなくす。制約はエッジが短いほど重みを大きく与える。この結果、すべてのエッジが元の3次元上のエッジの長さと同等か少し長く展開することが可能となる。図11に一般的な展開手法であるAngle Based Flattening++[7]との比較を示す。赤いエッジが縮んでいるエッジである。本提案手法により縮んだエッジがないような展開結果を得ることができる。

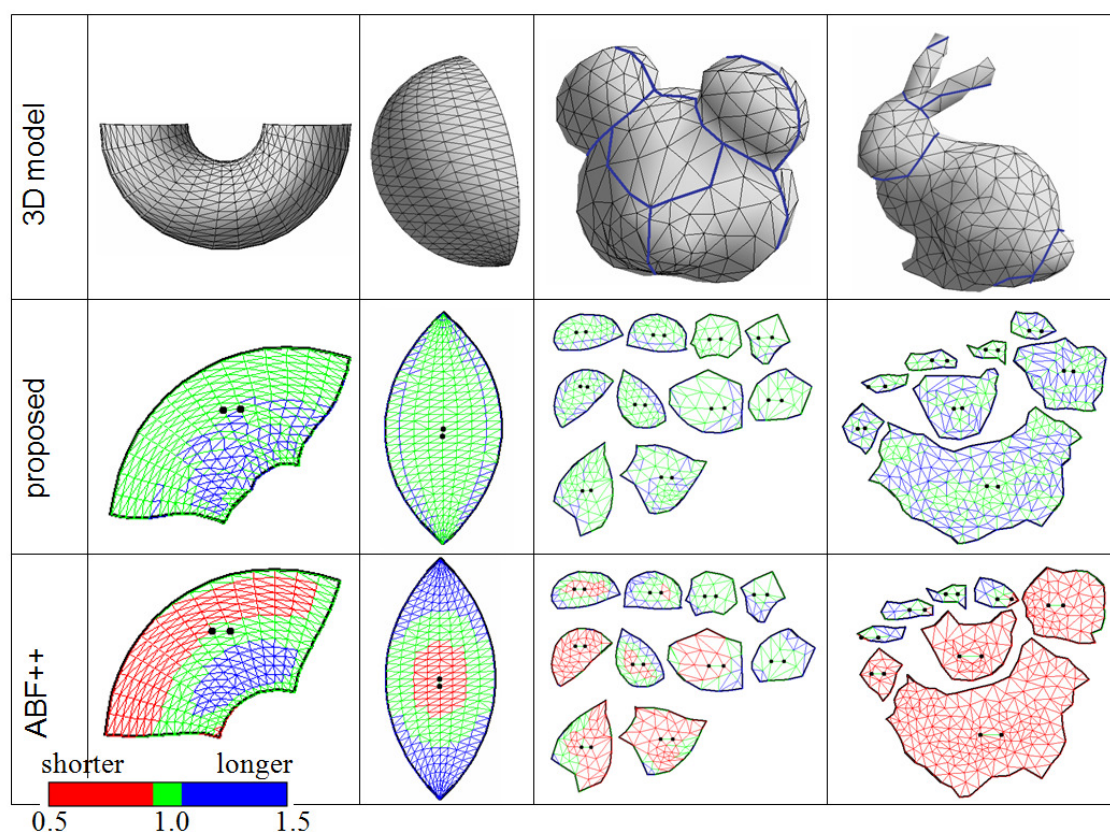


図 11: 縮まらない展開を行った結果.

取り出しテスト：技術的な貢献の2点目はユーザがデザインした取り出し口から3次元モデルを取り出せるか否かをテストする手法である。取り出し口の初期形状を3次元モデルに沿って伸びすぎないように仮想的にひっぱることで取り出せるか否かをテストする。この手法も繰り返し行う。システムは取り出し口を徐々に3次元モデルの方向へと広げ、内部の3次元モデルが取り出せるようにカバーを押ししていく。システムはリラクゼーション[8]を適用して布素材として伸びすぎないように調節する。3次元モデルが十分に取り出せたと判定されたとき、またはカバーが3次元モデルに引っかかり取り出せないと判定されたときに繰り返しは終了する。

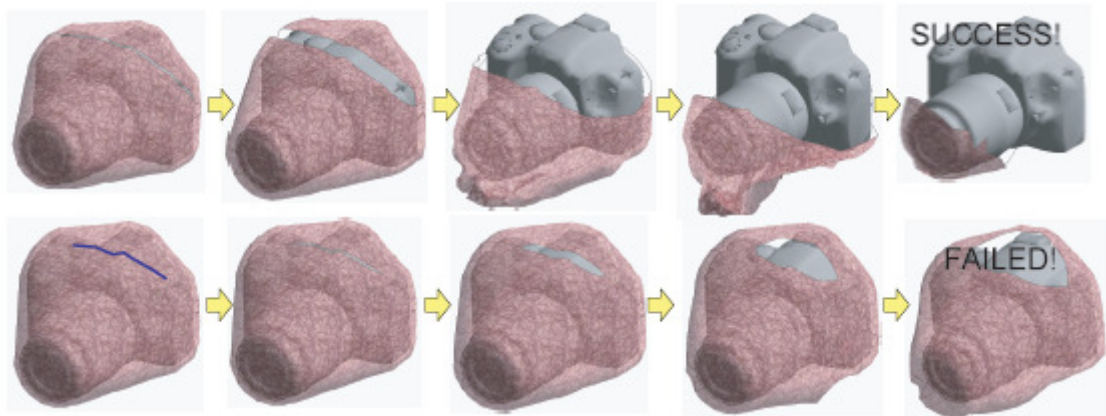


図 11: 取り出しテスト. 成功例(上段)と失敗例(下段).

本システムを 2 人のユーザに使用してもらい意見を聞いた. 図 12 にいくつかの結果を示す.

3D Model			
User 1	 seam design: 20 min sewing time: 70 min	 seam design: 5 min sewing time: 50 min	 seam design: 15 min sewing time: 60 min
User 2	 seam design: 10 min sewing time: 120 min	 seam design: 6 min sewing time: 135 min	 seam design: 5 min sewing time: 120 min

図 12 : 本システムを用いてユーザがデザインしたカバー.

4. 初心者向け手芸設計支援システムの要件

前章で紹介した 5 つのシステムはすべて本章で紹介する**初心者向け手芸設計支援システムのためのシステム要件**を設定し, これらを満たすように設計・開発をして検証を行った. 本章では我々が設定したシステム要件を紹介する. ま

ずコンピュータを用いて初心者を対象とすることから、支援システムとしては図 13 に示す、コンピュータへの入力・コンピュータ内部での操作・コンピュータからの出力・実際に手芸する過程のすべての過程において簡単であることとした。以上を踏まえた支援システムの要件を以下にそれぞれの詳細を述べる。



図 13：支援システムの要件はすべての過程において簡単であることとする。

簡単な初期入力

まず、コンピュータ操作が簡単であるためには、入力が簡単でなければならない。既存データを利用できることは必要不可欠である。ユーザが自身でデザインをすることを目標としているが、既存データからの手芸作品へのデータ変換、および一部のデザイン追加でも十分にオリジナリティを楽しめる。

また、素人でも簡単にデザインをするためには直感的な入力インターフェースが必要となる。一般の 3 次元モデリングソフトウェア[9,10] は、熟練者が使いやすいようなインターフェースに設定されているため、初心者が使いこなすためには別のインターフェースが必要となる。近年飛躍的に普及してきたスケッチインターフェースは、3 次元モデリングの分野でも多々使われている[4]。スケッチインターフェースはマウスやペンタブレットなどを用いて、絵を描いていくように入力する手法であり、コマンド入力や GUI 操作でのモデリングと比較すると素人にも受け入れやすい。

簡単な設計操作性

入力をした後の操作性についても簡単である必要がある。そのために、物理的な制約を物理的な制約をコンピュータが管理する機構が有効である。製作する素材(布, 毛糸)によって、作ることでできる 3 次元形状も異なってくることはすでに述べた。ユーザがデザインに集中できるように、作る素材の特性を生かした形状に変換する部分はシステムが補うことが必要である。シミュレーションベースでのモデリング手法を用いることにより、物理的な制約条件を加味した 3 次元形状モデルを作成することが可能になるため、ユーザは物理制約を

考慮せずにデザインに集中することができる。また、予め物理的制約条件をデザインプロセスに組み込むことで、モデリング後に制約条件を評価していた従来手法に比べて効率よくモデリングすることが可能になる。見通しのよい計算法を用いるなど、計算のロバスト性も考慮してメッシュ生成アルゴリズムおよびシミュレーションを実現する。また、直感的な操作のためには応答性が重要であり、そのために処理の高速化が必須である。シミュレーションは特に計算時間を要する。そこで、近似計算によってリアルタイムシミュレーションを実現する。これにより、ユーザに対話的に結果を提示することができ、次の操作への手助けをする。手芸では、実際に製作するために非常に時間がかかる。製作した後に期待していた形状と異なる形状になってしまうのでは、再度作り直すのに時間がかかってしまう。製作する前にできあがりの形状をコンピュータを用いてユーザに提示することで、思い描いている形状と異なる場合にはデザインし直すことが可能となる。さらに、実際に裁縫、編み物が終了してからサイズを変更したり、仮縫いをして補正したりするのは初心者にとっては大変な作業である。そのため、システムの中でサイズを変更したり調節したり可能なようにする。また、サイズ変更した際の形状の変化をユーザに提示することが必要となる。

わかりやすい出力

3次元形状を実世界で作るための編み図および型紙を自動生成する。本研究ではコンピュータの内部で完結するのではなく、最終的に手芸作品を作るところまでを目標とするため、手芸作品を制作するための図面を出力することは重要である。前述したように、図面をデザインすることは初心者には非常に難しい作業であるため、システムが全自動で図面を生成することが必要となる。この際、手芸の図法に従った出力を行うことで、一般の手芸の本を参考にしたり、経験者に作成手順を尋ねたりすることも可能になる。3次元モデルからの手芸図への変換アルゴリズムが必要となる。

製作難易度評価

初心者は自分がデザインした作品を自分で製作することが可能かどうかの判断が容易には判断できない。既存の型紙や市販の製作キットセットには「初心者向け」「上級者向け」「製作時間およそ3時間」などと難易度の表示がされており、自分の力量に合わせたものを製作することができる。そこで、初心者向け支援システムでは初心者であるユーザがデザインした形状に対して、実際に製作するための難易度を評価して提示することが必要となる。製作の難易度を簡単に評価することは難しいが、コンピュータを使って評価可能な指標として

幾何学的形状を利用した製作時間の提示が考えられる。製作時間は個人差によるぶれが大きいですが、同じ個人が製作する際にはどちらが簡単かなどの相対的な比較をすることができる。また、インタラクティブにデザインをしていくと同時に製作時間をユーザへ提示することにより、複雑なデザインになればなるほど製作時間が増えていくことをユーザは知ることができ、実際に自分では作ることのできないデザインをしてしまう、という事態を事前に防ぐことが可能になる。

以上の考察を踏まえて、初心者向け手芸設計支援システムの要件は、図 14 のようにまとめることができる。これらの機能をもつような構成で実現すれば良い。第 3 章で取り上げたシステムはすべてこの要件を満たすように設計されている。

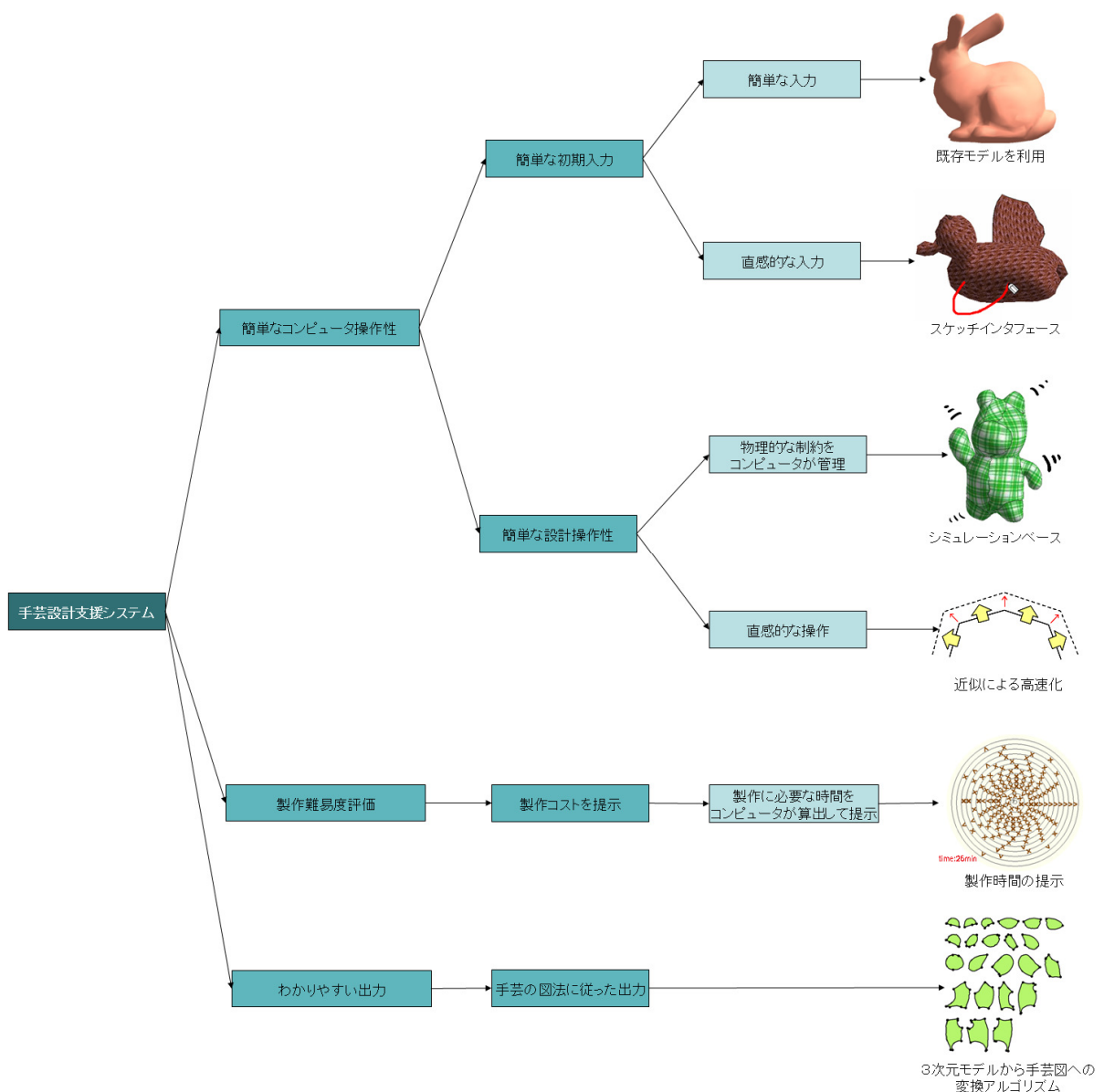


図 14：初心者向け設計支援システムの要件.

5. まとめと今後の展望

本研究では、コンピュータによって手芸分野における設計を支援することを目的とし、ぬいぐるみ、あみぐるみの設計を支援する手法および、機能性を考慮したカバーの設計を支援する手法を提案した。これにより、従来、手芸の分野はコンピュータ支援が未開拓であり、熟練者でも手作業が主であったが、本研究により、熟練者しか作成することのできなかつたオリジナルの手芸作品を主婦や子供たちなどの初心者がオリジナル作品をデザインし製作できるようになった。

また、従来の設計・製作支援の分野のシステムは CAD などのように専門家向けが中心だったため、**初心者でも手軽にデザインできるような直感的なインタフェースについても考案**し、実際にアプリケーションに実装して多くの人に使用してもらうことで、その有効性を確認することができた。実際に一般ユーザに使ってもらうためにワークショップの開催やユーザスタディにおけるシステム評価なども行った。以上の結果から、**初心者向け手芸設計支援システムの一般要件を明らかにした**。

さらに、技術的な貢献であるシミュレーションを行いながらのインタラクティブな**3次元モデリング手法は手芸分野だけでなく多くの分野で有効なツール**である。例えば、空気力学シミュレーションを行いながらの自動車のスタイリングデザインを行うことで、空気抵抗が少なく美的スタイルをユーザの簡単な変形操作でデザインできるなど工学的にも十分活かすことが可能である。従来は、偏微分方程式を立て、計算時間をかけてシミュレーションを行っていたが、本研究では対話的なシミュレーションを高速計算させるために近似モデルを立てた。計算機の高速化によりリアルタイムシミュレーションが可能となるため、このような新しい計算機の使い方ができた。

コンピュータは今後さらに普及し、1人1台の世の中になり、ユーザの層は今後より一層、低年齢化・高年齢化が進むと考えられる。これまでは既製品を楽しんでいたたり、書籍やキットを頼りに楽しんでいたたりした手芸の文化であるが、カスタムメイドでオリジナルな品をデザインする楽しさを提供するために、コンピュータが支援をするということを考えていきたい。コンピュータや裁縫に関しての素人なユーザが自ら想像して創り出すプロセスを支援できる仕組みを構築することで、子どもが自らデザインしたり、お年寄りが孫のためにデザインした洋服を縫ってあげたりすることが可能となる。身近なものを個人ユースが進んだコンピュータを用いて自らがデザインし創り出すことで、身近な商品開発に3次元文化革命を起こすことができ、これにより社会の裾野の技術基盤が底上げされると考える。

参考文献

- [1] Yuki Igarashi, Takeo Igarashi. "Pillow: Interactive Flattening of a 3D Model for Plush Toy Design." Lecture Notes in Computer Science, Springer (SmartGraphics 2008), Vol. 5166/2008, pp.1-7, ISBN:978-3-540-85410-4, Rennes, France, August 2008.
- [2] Yuki Mori, Takeo Igarashi. "Plushie: An Interactive Design System for Plush Toys." ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2007), vol.26, No.3, 45:1-8, San Diego, USA, August 2007.
- [3] 五十嵐 悠紀, 五十嵐 健夫, 鈴木 宏正: 「あみぐるみのための3次元モデリングと製作

支援インタフェース」, 日本ソフトウェア科学会論文誌『コンピュータソフトウェア』Vol.26, No.1(2009年2月号), pp. 51-58, 2009.

[4] Takeo Igarashi, Satoshi Matsuoka, Hidehiko Tanaka, "Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design" ACM SIGGRAPH'99, Los Angeles, 1999, pp.409-416.

[5] Yuki Igarashi, Takeo Igarashi, Hiromasa Suzuki. "Knitting a 3D Model." Computer Graphics Forum (Proceedings of Pacific Graphics 2008), Volume 27, Number 7, pp.1737-1743, ISSN 0167-7055, Tokyo, Japan, Oct. 2008.

[6] Yuki Igarashi, Takeo Igarashi, Hiromasa Suzuki. "Interactive Cover Design Considering Physical Constraints." Computer Graphics Forum (Proceedings of Pacific Graphics 2009), Vol.28, No.7, pp.1965-1973, Jeju, Korea, Oct. 2009.

[7] Sheffer, A., Lévy, B., Mogilnitsky, M., and Bogomyakov, A., "ABF++: Fast and robust angle based flattening", ACM Transactions on Graphics, Vol. 24, No. 2, pp. 311-330, (2005).

[8] Takeo Igarashi, John F. Hughes, "Clothing Manipulation", 15th Annual Symposium on User Interface Software and Technology, ACM UIST'02, Paris, France, October 27-30, 2002, pp.91-100.

[9] Autodesk. Maya. <http://usa.autodesk.com/>

[10] Autodesk. 3ds Max. <http://usa.autodesk.com/>