

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：32507

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K02337

研究課題名(和文)3次元ディスタンスフィールドに基づく未来型アパレル造形システムの開発

研究課題名(英文)Development of a futuristic apparel modeling system based on 3D distance fields

研究代表者

山本 高美 (YAMAMOTO, Takami)

和洋女子大学・家政学部・准教授

研究者番号：10327182

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、3Dディスタンスフィールドを構築することにより、体表面から一定の距離を保つ曲面を等値面として抽出し、ゆとりを厳密に定義した衣服を設計することを可能とした。この特徴は、人体への厳密なフィットが要求される「身頃原型」の製作等において非常に有用である。実際の縫製に必要な2Dのパターンは、等値面として定義された理想の衣服曲面をトリミングすることで得られる。布地の3D的な湾曲を2D的な伸縮へ還元することで、歪みを最小限に抑えることができる。アパレルアイテムは、レディースとメンズそれぞれの身頃原型と、メンズのベストを製作した。試着評価の結果、体型にフィットしたことから本研究の有効性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、3Dスキャンで取得した人体のポリゴンモデルから、3Dディスタンスフィールドを表すボクセルモデルを構築し、男・女の身頃原型パターンの製作を行った。ポリウム処理により、身体の左右差を廃した審美性の高いトルソーモデルの生成に成功した。パターンの立体的な理想形をトルソーモデル上で設計することにより、非常に歪みの少ない平面パターンの生成を可能とした。実際に試着して検討を行った結果、個人の体型にフィットしながらも適度なゆとりのあるアパレルアイテムであることも実証された。これらは、大学における被服構成学分野の革新的な内容であり、アパレル業界にも貢献できる。

研究成果の概要(英文)： This study constructed a 3D distance field, from which curved surfaces that maintain a specific distance from the body surface can be extracted as isosurfaces for designing garments with strictly defined margins. This feature is extremely useful for creating "body prototypes" that require a perfect fit with the human body.

The 2D pattern required for actual sewing was obtained by trimming the ideal garment surface defined as such an isosurface. Distortion was minimized by reducing the 3D curvature of the fabric to 2D stretching. Bodice prototypes for women and men and men's vests were created as example apparel items. The trial fitting evaluation results demonstrated the effectiveness of this study.

研究分野：家政学および生活科学関連

キーワード：3Dディスタンスフィールド ポリウムモデル アパレルアイテム 3D人体計測 被服構成学

## 1. 研究開始当初の背景

ICT機器の発達とともに、3D スキャナの開発が進んでおり、手軽なハンディ型、据え置き型、人体全身が計測できる大型のものなどがある。アパレル業界では、人体全身を5秒から10秒程度で計測できる大型のものが使用されている。その利点は、精度の高さ、人体に非接触、短時間での計測にある。このように、個人の詳細な人体データが容易に取得できるようになったことから、今後3Dをベースとした設計が主流となることが確実視されている。

3D スキャナを用いた服飾関連の研究には、浜松ホトニクスの3D ボディラインスキャナに付属する人体計測ソフトウェアの開発、人体の動きやサイズ変化に対応できる衣服の着装シミュレーション、様々な人体モデルを高解像度の4D キャプチャシステムを用いてアニメーションで表現したもの等が知られている。しかし、従来研究の大半はポリゴンをベースに人体の表面しかモデリングしておらず、人体への適度なゆとり、圧迫が必要な密着衣料などには適さない。そこで本研究では、人体の計測モデルを、従来のサーフェスモデルからポリウムモデルへ転換する。実際、CGの分野では計算資源の発達によって、ポリウムを考慮したより正確でリアルなモデリングが種々の目的で応用されている。

## 2. 研究の目的

従来のアパレル設計においては一般的に、2Dの型紙を3Dの人体へ着装するという方法論に基づいて、布地自体を明示的に表すポリゴンモデルが多用されてきた。しかし人体を包む衣服を2Dの型紙へ展開するという、より直観的な方法論においては、人体形状を基に曲面を定義できるポリウムモデルの方が適している。

特に3D ディスタンスフィールドを構築することで、体表面から一定の距離を保つ曲面を自由に生成できることがポリウムモデルの最大の特徴である。等値面を定義するしきい値を変更することで、実測された人体を痩せさせたり太らせたりすることが容易になるため、ゆとりを厳密に定義した衣服を設計することが可能となる。この特徴は、人体への厳密なフィットが要求される「身頃原型」の製作において非常に有用である。

しかし3D スキャンされた形状をそのまま利用すると、人体へのフィット性は高まるが、均整のとれた衣服としての審美性は低下してしまう。そこでトポロジー操作が容易となるボクセルモデルの特長を活かし、個人の体型特徴を保ちながらも、人体の左右差を除去する手法を開発した。我々のアパレル設計システムは、その審美的に修正されたポリメトリックトルソーをベースとして構成されている。

実際の縫製に必要な平面のパターンは、等値面として定義された理想の衣服曲面をトリミングすることで得られる。もちろん本来は3D的に湾曲する曲率をもっているが、トリミング曲面を再びポリゴンメッシュへ変換することで、バネ質点系によるクロスシミュレーションを適用することができる。布地の3D的な湾曲を2D的な伸縮へ還元することで、歪みを最小限に抑えながら、2Dのパターンを得ることが可能となる。

なお、レディースとメンズそれぞれの身頃原型と、メンズのベストを製作し、本システムを評価した。

## 3. 研究の方法

### 3.1 ポリメトリックアパレル設計システム

図1に、本研究で開発したシステム処理フローを示す。まず3D スキャナにより人体のポリゴンモデルを取得し、ボクセルモデルへ変換して3D ディスタンスフィールドを構築する。次に、矢状面検出による左右差の除去と、しきい値によるゆとりを確保したトルソーを生成する。

その後、身頃原型を作成するためのデザイン線をトルソー表面に描き入れ、ポリゴンメッシュとしてパターン曲面を生成する。さらに切り取ったパターン曲面を平面パターンへ展開する。最後にバーチャルフィッティングによって布地の歪みを確認しつつ、厚手シーチングを用いて裁断、縫製、試着して設計品質の評価を行う。

### 3.2 ボディモデルの生成

個人の人体形状は3D ボディスキャナによってデータ化されるが、一般的にそのデータはポリゴンモデルとして出力される。そこでポリゴンデータをポリウムモデルへ変換する必要がある。我々の実装では、ポリゴンモデルの内部を1、外部を0としてボクセル値を設定した。そしてその境界面上、つまり体表面付近の点には、体表面からの距離に応じて中間値を与え、近接場におけるディスタンスフィールドを形成する。ポリゴンモデルと同一の曲面はしきい値1/2の等値面として得られ、しきい値を変化させることで、人体として無理のない範囲で、形状を膨張・収縮させることができる。

しかし実際のポリゴンデータには、スキャナ自体の計測誤差やアンダーウェアの凹凸などのノイズが乗っており、忠実にボクセルサイズだけでは、トルソーとしての有用性が低下する。そこで画像処理における平滑化フィルタと同様、3Dのボクセル空間に対しても平滑化フィルタを適用した。

平滑化処理はボクセルモデルの空間周波数を低下させるため、どのように複雑なモデルもトポロジー的に球体へ漸近し、指や腕などの突起が削られていく。ゆえに人体モデルが変形し、実測値と乖離してしまうが、その増減分をしきい値の調整で相殺することで、周囲長などの代表的なパラメータ値を保ったまま、表面品質が維持されたボディモデルを生成することができる。

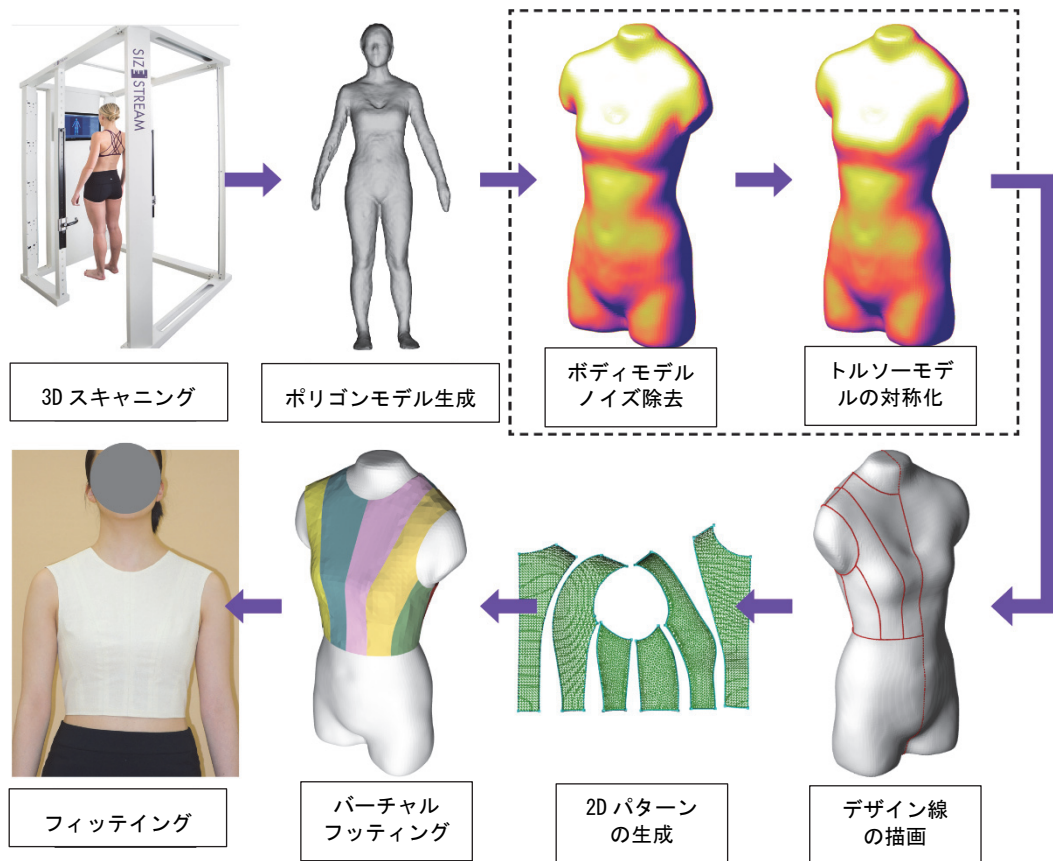


図1 3D ディスタンスフィールドに基づくパターン展開システムの流れ

### 3.3 トルソーモデルの生成

人体には姿勢の歪みや左右差が存在するので、実際の体型に忠実なボディモデルを生成できたとしても、衣服設計のベースとなるトルソーとしては審美性を欠いてしまう。そこでボディモデルから自動的に人体の矢状面を検出し、姿勢の傾きの除去と、体型の左右差の除去を行った。

矢状面を挟んで対称的に存在するボクセルの値を平均化することで左右差は除去される。しかし表面の平滑化同様、バスト形状などに変化が生じるため、しきい値を調整することで、胸囲長などを保存しながら等値面の対称化を行う。

さらに最終的には、身頃原型の設計に適した土台とするために、しきい値をあえてずらして、わずかに膨張した(太らせた)トルソーモデルを生成する(図2)。形状にあらかじめ「ゆとり」が含まれるため、そのトルソーの上で直接パターンを切ることができる。

### 3.4 パターンの3D 設計

衣服の縫製に必要なパターンを得るため、トルソーモデルの表面へデザイン線(切り開き線)を描き入れる(図3)。前・後中心、プリンセスラインを入れ、さらにプリンセスラインと脇の間にもう1本デザイン線を入れた。衿ぐり線と袖ぐり線を入れると、上半身を包む身頃が完成する。

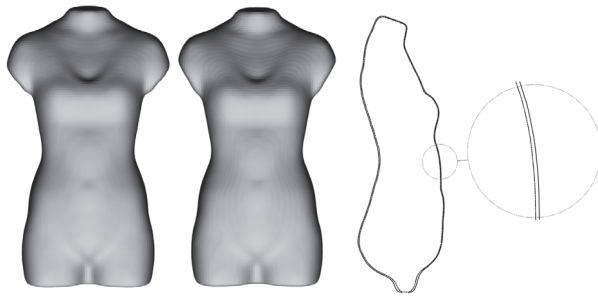
デザイン線は、最終的に平面のパターンへ変換した際に歪みが少なくなるよう、経験則的に配置した。バスト、肩甲骨のような凸部は円錐形状と考え、分割境界を頂点上に配置する。トルソー上に配置されたパターンの曲面を、裁断可能な平面パターンへ変換する(図4)。曲面の変形には、曲面を陽的に表すポリゴンモデルの方が適しているため、等値面上に描かれたパターンをポリゴンメッシュへ変換する。具体的にはマーキングキューブ法により、等値面全体を一旦ポリゴンメッシュへ変換した後、パターンの領域に合わせてトリミングを行う。パターンの境界を横断するポリゴンはデザイン線によって分割し、パターンごとに完全に分離したポリゴンメッシュを得る。

元々のポリゴンメッシュは3D 的な曲率をもっているが、簡易なクロスシミュレーションを施すことで、平面へのパターン展開が可能となる。曲面を平面へ押し潰す変形であるため、曲率の除去と引き換えに、生地伸縮歪みは避けることができない。しかしポリゴンの稜線と頂点によりバネ質点系を構成することで、生地伸縮歪みを最小限に抑えることができる。そうして得られたポリゴンメッシュの外形線が、身頃原型のパターンとなる。

### 3.5 バーチャルフィッティング

平面パターンのポリゴンメッシュは、平面化した時点で必ず歪みが生じているため、平面パターンを再び三次元的に縫製し直しても、元のトルソーの形状とは一致しない。そこで歪み量を定量的に評価するために、バーチャルフィッティングを行う(図5)。

布のリアルスティックな挙動をシミュレーションするには、均一な密度のポリゴンメッシュが必要なため、リメッシングを行う。ポリゴンメッシュの外形線として平面パターンを取得した上で、古いポリゴンメッシュを一旦廃棄し、再度新しくポリゴンメッシュを張り直す。新しいポリゴンメッシュの頂点は、ポアソンデ



(a) オリジナル (b) 膨張させた形状 (c) 差分  
図2 しきい値が変更されたトルソー

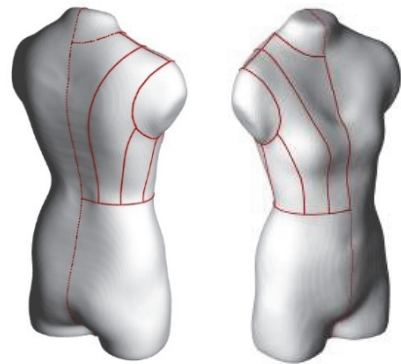
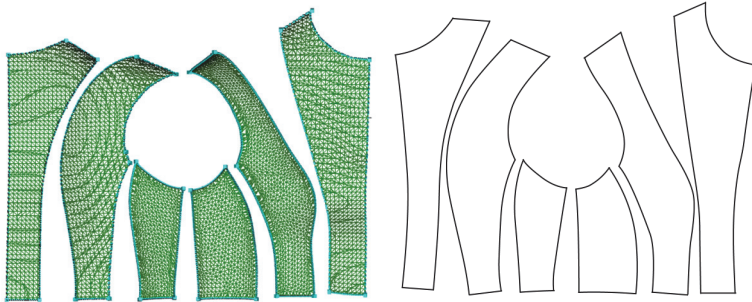


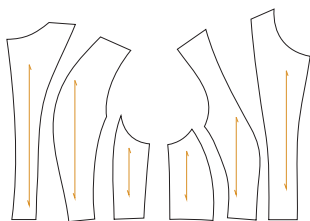
図3 デザイン線で分割



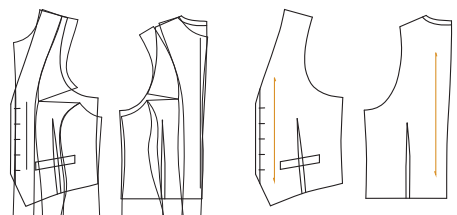
(a) トリミングされたISO画面 (b) フラットパターン  
図4 パターンのプロセスを生成



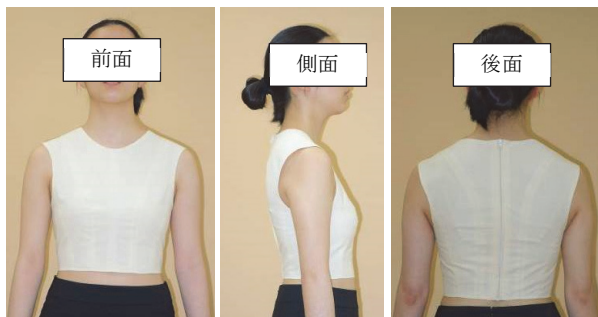
図5 バーチャルフィッティング



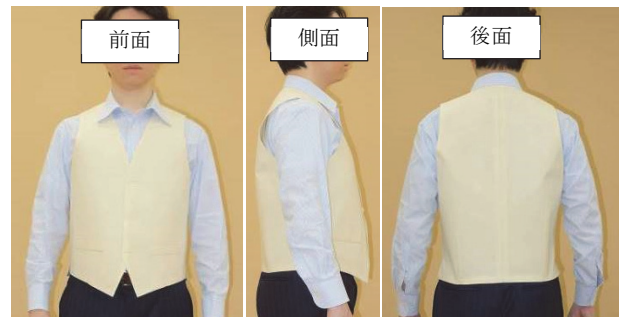
(a) 身頃原型のパターン (右身頃)



(a) ベストパターンの展開 (左身頃)



(b) 身頃原型の試着結果  
図6 女性の身頃原型



(b) メンズベストの試着結果  
図7 男性のベスト

イスク分布によりパターン内に充填され、各頂点を最短距離でつなぐ均一なポリゴンメッシュは、ドロネー三角形分割によって生成された。

クロスシミュレータの実装は、研究協力者の伊藤智行氏が開発したフリーウェア「洋裁CAD」をベースに行われた。一般的な平面ベースで設計されたパターンの場合、着装シミュレーションにおける布地の歪みは大きく、パターンの修正が必要となることが多い。しかし今回は元々三次元的に設計されたパターンであるため、着装シミュレーションにおいても布地の歪みが非常に少なく、修正の必要はなかった。もっとも、パターンの伸縮歪みとは別に、外形線の歪みは着装時のシルエットに影響することから、衿ぐり・袖ぐり・ウエストにおける断面形状の補正は適宜行った。

#### 4. 研究成果

バーチャルフィッティング、アパレル CAD により微修正したレディースの身頃原型パターン（右半身）を図 6 (a) に示す。一般に女性は右、男性は左のパターンを作成する。厚手シーチングを用いて裁断、縫製した。縫製はミシンで行い、背中心が曲線であることからオープンファスナーを付けた。図 6 (b) は、研究協力者が試着した結果である。試着評価アンケートは、「よかった」「まあよかった」「あまりよくなかった」「良くなかった」の 4 段階で聞いた。シルエットは、前面・側面・後面とも「よかった」という評価を得た。フィット感、着心地も「よかった」という評価を得た。自由記述は、「側面からの胸のカーブのシルエットがきれい。袖ぐり、肩線に適度なフィット感がある。」「ゆとりが適度にあり、動作しても不具合はなかった。」という内容であった。

図 7 (a) は、メンズベストのパターンであり、右は原型の展開図の上にベストを作図したものである。左は、ベストの作図である。図 7 (b) は、研究協力者が試着した結果である。試着評価アンケートから、シルエットは、前面・側面・後面とも「よかった・まあよかった」という評価を得た。フィット感、着心地も「よかった・まあよかった」という評価を得た。自由記述は、「全体のゆとりがちょうどよかった、丈が若干長い気がした。」「なで肩にフィットしていた。」「不要な圧迫感はなかった」という内容であった。

今回、3D スキャンで取得した人体のポリゴンモデルから、3D ディスタンスフィールドを表すボクセルモデルを構築し、男・女の身頃原型パターンの製作を行った。ボリューム処理により、ノイズを廃した高品質なボディモデル生成と、身体の左右差を廃した審美性の高いトルソーモデルの生成に成功した。さらに、ディスタンスフィールドにおけるしきい値を変化させることで、ゆとりを厳密に指定した身頃原型とベストの製作にも成功した。

パターンの立体的な理想形をトルソーモデル上で設計することにより、非常に歪みの少ない平面パターンの生成を可能とした。実際に試着して検討を行った結果、個人の体型にフィットしながらも適度なゆとりのあるアパレルアイテムであることも実証された。今後は、さらに検討を行い、各種アパレルアイテムを開発したい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 山本 高美, 中山 雅紀, 藤代 一成	4. 巻 Vol.6
2. 論文標題 3Dボディデータをを用いた立体構成学演習のシラバスとその教材開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 和洋女子大学教職教育支援センター年報	6. 最初と最後の頁 65-72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masanori Nakayama, Takami Yamamoto, Issei Fujishiro	4. 巻 Vol. 10, No. 1
2. 論文標題 3D Distance Field-Based Apparel Modeling	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing	6. 最初と最後の頁 55-65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山本 高美, 中山 雅紀, 藤代 一成
2. 発表標題 3次元ディスタンスフィールドに基づく個別型トルソーの開発
3. 学会等名 日本家政学会年次大会、第72回大会研究発表要旨集, p.7
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 多田一輝, 藤代一成
2. 発表標題 画像変換デザインに基づく縦編みレースの三次元モデル生成
3. 学会等名 情報処理学会第83回全国大会 (オンライン開催), 6Y-07 (講演論文集(4), pp. 81-82)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本 高美, 中山 雅紀, 藤代 一成
2. 発表標題 3次元ディスタンスフィールドに基づく個別型トルソーのプロトタイピング
3. 学会等名 日本衣服学会第71回年次大会総会・研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本 高美, 中山 雅紀, 藤代 一成
2. 発表標題 3次元ディスタンスフィールドに基づく個別型トルソーの開発
3. 学会等名 日本家政学会年次大会, 一般社団法人日本家政学会第72回大会研究発表要旨集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 多田 一輝, 藤代 一成
2. 発表標題 縦編みレースの特徴抽出とラッピングを考慮した画像変換デザイン
3. 学会等名 第7回ADADA Japan学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本 高美, 中山 雅紀, 藤代 一成
2. 発表標題 3Dボディデータを基にした適応的なゆとり量の身頃原型開発
3. 学会等名 一般社団法人日本家政学会第74回大会研究発表
4. 発表年 2022年

## 〔図書〕 計1件

1. 著者名 山本 高美	4. 発行年 2020年
2. 出版社 風間書房	5. 総ページ数 270
3. 書名 3D人体計測に基づくアパレルアイテムの開発	

## 〔産業財産権〕

## 〔その他〕

山本高美研究室 <a href="http://www.a-cad.net/">http://www.a-cad.net/</a>
--

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	藤代 一成  (FUJISHIRO Issei)  (00181347)	慶應義塾大学・理工学部(矢上)・教授    (32612)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	中山 雅紀  (NAKAYAMA Masanori)	慶應義塾大学・研究生    (32612)	

## 7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

## 〔国際研究集会〕 計0件



8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------