

# モータースポーツ用耐熱服のリバーズエンジニアリングと 温熱快適性における3DアパレルCADの応用可能性に係る フィジビリティスタディ

信州大学 若月 薫  
(共同研究者) 文化学園大学 亀谷 英杏  
信州大学 森川 英明  
同 佐古井 智紀  
同 朱 春紅

## **Feasibility Study on the Application of 3D Apparel CAD in Reverse Engineering and Thermal Comfort of Protective Clothing for Motorsports**

by

Kaoru Wakatsuki, Hideaki Morikawa,  
Tomonori Sakoi, Chunhong Zhu  
*Faculty of Textile Science and Technology,  
Shinshu University*  
Youngah Kametani  
*Faculty of Fashion Science, Bunka Gakuen University*

### ABSTRACT

In this study, a feasibility study of protective clothing for automobile racing was conducted to investigate the possibility of using digital simulation methods to design efficient new protective clothing shapes and structures and to evaluate thermal/motional comfort in the future. The feasibility study included: (1) collection and reverse engineering of currently used automobile racing suits and a pit crew uniform from foreign manufacturers, and investigation of fabric specifications, structure,

and sewing; (2) evaluation of the thermal comfort of each suit; (3) conversion of disassembled sewing parts into 2D data; and (4) use of a 3D cloth simulator to reproduce the shape of the suit. The results of this study showed that the digital fitting technology can be used not only for fashion apparel and sports apparel but also for protective clothing.

## 要 旨

本研究は、将来の効率的な新しい防護服形状・構造の設計手法・温熱/動作快適性の評価としてデジタル手法の活用可能性を検討するため、自動車レース用防護服を例としたフィジビリティスタディを実施した。その中で、①現在使用されている市販の4輪用レーシングスーツ・ピットクルー用作業服を収集・リバーズエンジニアリングし、生地仕様、構造及び縫製を確認、②各服が有する温熱快適性評価、③分解された縫製パーツの2Dデータ化、④3Dクロスシミュレータの利用による4輪用レーシングスーツの形状再現・ポストプロセッシングを実施した。本研究の成果により、デジタルフィッティング技術は、ファッションアパレル・スポーツアパレルに加え、防護服に対しても活用可能であることを示した。

## 1. 緒 言

### 1. 1 本研究の背景及び目的

モータースポーツで使用される耐熱服（レーシングスーツ・ピットクルー用作業服）は、ドライバー・クルーなどが着用する防護装備の一つで、特にレース中の事故・ピット作業における燃料火災により炎や熱から身体を防護することを目的とし、耐熱性を最優先に動作性・快適性が求められる。現状、作業服は生産性とコストの観点からS, M, L, LLという一定サイズを大量生産され、作業者は自分の危険リスクに最も近い且つ自分の体型にサイズに近い作業服を選ぶ。しかしその関係

では、作業着が作業者にタイトフィットもしくはルーズフィットという体型にピタリあう服ではないため、結果としてリスクに対する防護が発揮できない・作業動作を制約する・ヒートストレスを受けてしまう問題を有する。本研究で取り上げる炎と熱に対する耐熱作業服は、常に熱傷を負うという危険リスクと隣り合わせである。耐熱服地は一般のスポーツ用生地と比較し剛性が強く、動作快適性に制限が発生する。また、熱傷防止のため皮膚を露出できない「つなぎ」であるゆえ、非常に高い密閉性や衣服内換気も制限されるため、顕熱・潜熱放散が抑制される。一般にカーレースなどではドライバーは密閉性の高いコックピット内で運転し、一方ピットクルーは炎天下におけるピット作業が発生する。特に、この耐熱服における代謝熱放出を抑制することは、結果としてヒートストレスにつながる。特に、動作快適性に加え、耐熱性と代謝熱の放出は相反する目的となるため、この二つの機能を有するモータースポーツ用耐熱服の設計は究極のチャレンジである。

近年、デジタルフィッティング（バーチャルフィッティング）技術がアパレル産業にて普及し始めた。身近なところではZozotownのZozoスーツ<sup>1)</sup>、JINSのFACE MATCH<sup>2)</sup>などが身近な例である。また、基本の考え方は、ユーザーの身体寸法データをベースに、スマホ・パソコンで、アイテムの試着をし、自分の体型・パフォーマンスに合うアイテムを設計する・製作する・選ぶ・直すである。スポーツウエアはアスリートの怪我リスク・パフォーマンス向上に対するフィッティング

を重視する。危険作業従事者は今後スポーツ同様、デジタルフィッティング技術を用い、それぞれの危険リスクに対する防護性・動作快適性・温熱快適性のパフォーマンスを最適化した服を着用できればと考える。本研究は、効率的に新しい防護服の形状、構造の設計手法が可能かについて4輪用レーシングスーツをフィジビリティスタディの例として取り上げ、発汗ホットプレート装置を用いたモータースポーツ用耐熱服生地での顕熱・潜熱損失の測定及び温熱快適性における問題点の把握、リバーエンジニアリングによる4輪用レーシングスーツ・ピットクー用作業服の形状解析の実施、3Dクロスシミュレーターによる4輪用レーシングスーツの形状再現を行い、デジタルフィッティング技術が防護服設計へ活用可能であるか検討した。

## 1. 2 現在のモータースポーツ用耐熱服に関する規則・国際規格

4輪用レーシングスーツが持つべき性能は、国際自動車連盟 (FIA)<sup>3)</sup>、国際標準化機構 (ISO)<sup>4)</sup>、日本自動車連盟 (JAF)<sup>5)</sup> から出されており、性能評価のための試験方法は主として国際標準化機構 (ISO) における「熱と炎に対する防護性」の試験規格に基づいて行われている。熱と炎に対する防護性は、着火性試験 (ISO 15025)<sup>6)</sup>、火炎暴露による遮熱性試験 (ISO 9151)<sup>7)</sup>、熱風循環炉を使用する対流耐熱性試験方法 (ISO 17493)<sup>8)</sup> を用いて実施している。これら防護性を評価する試験は、4輪用レーシングスーツで使用する生地に対しての評価であり、製品の評価ではない。FIA における4輪用レーシングスーツが持つべき性能は FIA 8856-2000 (自動車運転者用の防護服)<sup>3)</sup> で規定されている。また ISO においても4輪用レーシングスーツ FIA 8856-1998 を引用した性能規格 (ISO14460)<sup>4)</sup> が存在する。市販のレーシングスーツは FIA 規格によって製品認証が行われ、製品認



図1 FIA公認レーシングスーツのマーキング(例)及び取付位置

証が行われたスーツは図1に示すマーキングタグが取り付けられている。マーキングタグにおける「RS.000.00」はスーツ個々の認証番号を示す。

## 2. 実験

本研究は、表1に示す市販4輪用レーシングスーツ (2種、Sample A, B) 及びピットクー用作業服 (1種、Sample C) をオンライン販売で購入し、レーシングスーツ生地が有する温熱快適性・リバーエンジニアリングを踏まえた3Dクロスシミュレーターの使用可能性を検討した。市販4輪用レーシングスーツ Sample A は市販品としてはハイグレードなものであり、Sample B は標準レベルである。また、3Dクロスシミュレーターにおける寸法修正の機能を検証するため、Sample A は Sample B より意図的に2サイズアップしている。

### 2. 1 温熱快適性

4輪用レーシングスーツ及びピットクー用作業服の生地の温熱快適性は、顕熱損失、潜熱損失、全熱損失で評価した。

防護服の温熱快適性は、一般に代謝熱が服の生地を介して外気に放出できる熱量 (全熱損失) により評価している。本研究では、ASTM F1868-17<sup>9)</sup> Part C法を用い、救急隊員の衣服の温熱快適性を評価した。図2、図3に示す発汗ガードホットプレート環境試験装置 (スキンモデル) (MEASUREMENT Technology NORTHWEST 社 iSGHP10.5 431-407) を用い、測定を行った。

本研究で使用した発汗ガードホットプレートの

表1 本研究で使用した市販レーシングスーツ・ピットクルー用作業服

	レーシングスーツA	レーシングスーツB	ピットクルー用作業服
前 面			
後 面			
サ イ ズ	身長188cm用	身長180cm用	身長176cm用
素 材	表地:キルト, m-Aramid100% 裏地:ダブルニット, m-Aramid100%	表地:キルト, m-Aramid100% 裏地:ニット, m-Aramid100%	表地:m-Aramid 55% Modacrylic 45%
目 付	表地:199 g/m <sup>2</sup> 裏地:228 g/m <sup>2</sup>	表地:205 g/m <sup>2</sup> 裏地:205 g/m <sup>2</sup>	170 g/m <sup>2</sup>

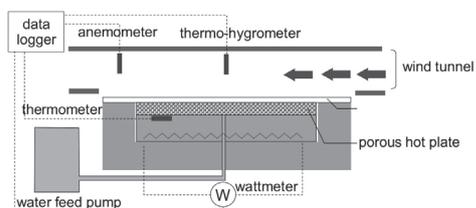


図2 スキンモデル(ASTM F1868 Part C)装置概略図

測定部寸法は、縦50 cm×横50 cmである。そのため、温熱快適性試験用生地片は、図3に示すように解体した4輪用レーシングスーツの背部生地を組み合わせて測定部の寸法に合わせる工夫を施した。

4輪用レーシングスーツは織物による表地とニットによる裏地の2層で構成する (Sample Aはダブルニット, Sample Bはシングルニット)。ゆえに、表地・裏地の試験生地片を製作し、それぞ

れの生地が有する熱損失と重ね合わせによる熱損失を測定した。

ピットクルー用作業服は、織物による表地のみで構成するため、試験生地片は表地1枚で熱損失を測定した。

熱抵抗値は、図2に示すように30分間にホットプレートが35℃に調整するために使用した熱量を、生地が放出した熱量[W]として測定し、試験環境から出る温度差、蒸気圧差を用いて算出した。試験環境は、気流速度 $1.0 \pm 0.1$  m/s、気流温度 $25.0 \pm 0.5$ ℃、気流相対湿度 $65.0 \pm 4.0$  %、ホットプレート温度 $35.0 \pm 0.5$ ℃とした。得られた熱抵抗値と試験環境から、全熱損失: $Q_t$  [W/m<sup>2</sup>]、顕熱損失: $Q_d$  [W/m<sup>2</sup>]及び潜熱損失: $Q_w$  [W/m<sup>2</sup>]は、顕熱抵抗: $R_{cf}$  [℃・m<sup>2</sup>/W]、潜熱抵抗: $R_{ef}$  [Pa・m<sup>2</sup>/W]、ホットプレート温度: $T_{skin}$  [℃]、気流温度:

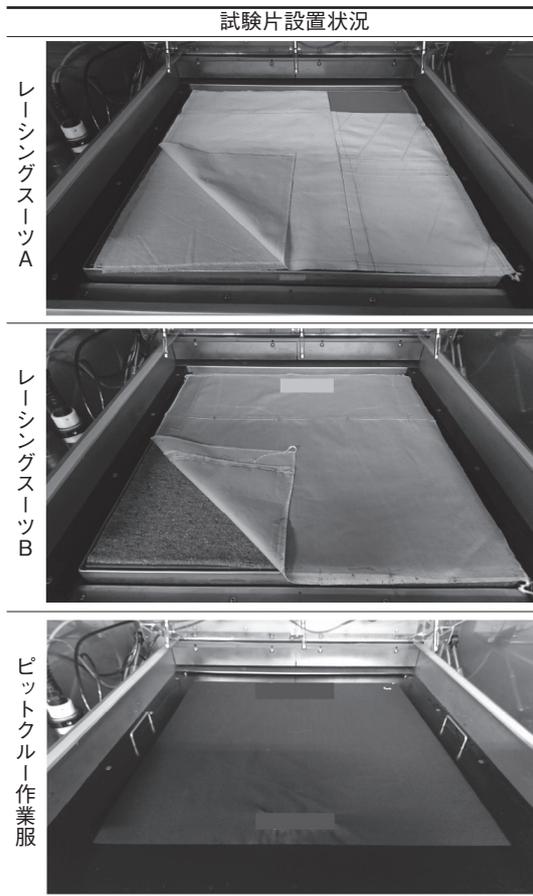


図3 スキンモデル上の試験片設置状況  
レーシングスーツ A,Bは積層生地である。左下端折返しは生地  
の重なりを示すため撮影用に折り返している

$T_{amb}$  [°C], ホットプレート温度での飽和蒸気圧:  
 $P_{sat}$ [Pa] 及び気流温度での飽和蒸気圧: $P_{amb}$ [Pa]と  
した式 (1) で求めた.

$$Q_t = Q_d + Q_w = \frac{(T_{skin} - T_{amb})}{R_{cf} + 0.04} + \frac{(P_{sat} - P_{amb})}{R_{ef} + 3.5} \quad (1)$$

## 2. 2 4輪用レーシングスーツのリバースエン ジニアリング

本研究で用いた4輪用レーシングスーツ  
(Sample A, Sample B) 及びピットクルー用作業服  
(Sample C) のリバースエンジニアリングを次の2  
つのステップを経て実施した.

ステップ1: レーシングスーツ形状・縫製の特

徴について外観より解析を実施.

ステップ2: レーシングスーツの形状・縫製の  
特徴について, 縫製を解き・解体し, ステップ1  
の外観観察より得た解析との相関性を考察.

## 2. 3 3Dクロスシミュレータの利用による4輪 用レーシングスーツの形状再現

3Dクロスシミュレータの利用による4輪用レー  
シングスーツ (Sample A, Sample B) の形状再現  
は, 次のステップを介して実施した.

ステップ1: 解体した構成部品各々を型紙化し,  
大型スキャナを用いたスキャニングを実施.

ステップ2: スキャニングした部品データを2D  
アパレルCAD (パターンマジック II, 東レACS) で  
デジタイジングし, パターンデータの作成を実施.

ステップ3: パターンデータを FDK  
(DressingSim Cloth, デジタルファッション) に  
読み込み, 20代男性マネキン (MD-20A, 七彩,  
身長170 cm) を3Dボデイスキャニング (浜松ホ  
トニクス製 ボディラインスキャナ) で得た人体  
データを Anaheik (DressingSim Cloth, デジタル  
ファッション) に読み込んだ. なお, レーシング  
スーツ生地が有する曲げ特性を曲げ特性試験機  
(カトーテック, KES-FB2-AUTO-A) にて測定し,  
物性データとしてシミュレーターに入力した.

ステップ4: 縫い合わせ位置の設定を行い, 縫  
製処理を行い3Dモデル化

ステップ5: 得られた3Dモデルのポストプロ  
セッシング (修正, 緩和) を施し, 最終フィッテ  
ィングの実施

## 3. 結果及び考察

### 3. 1 4輪用レーシングスーツ・ピットクルー 用作業服生地の温熱快適性

#### 3. 1. 1 スキンモデルによる顕熱損失 $Q_d$ , 潜 熱損失 $Q_w$ , 全熱損失 $Q_t$ の測定

表2に4輪用レーシングスーツ・ピットクルー

表2 市販レーシングスーツ・ピットクルー用作業服が有する熱損失測定結果

	レーシング スーツA	レーシング スーツB	ピットクルー 用作業服
顕熱損失(W/m <sup>2</sup> )	61.8	89.8	172.8
潜熱損失(W/m <sup>2</sup> )	117.3	178.1	452.2
全熱損失(W/m <sup>2</sup> )	179.1	267.9	625.0

用作業服が有する各熱損失値を示す。表1に示すように目付がレーシングスーツ Sample A と Sample B と比較し、ピットクルー用作業服は目付が170g/m<sup>2</sup>と少なく、単層生地であるため、非常に大きな熱損失を示した。しかし、4輪用レーシングスーツ Sample A と Sample B は表地と裏地の2層が積層されており、積層による低い熱損失値を示した。特に、Sample A は裏地がダブルニットになっていることから、シングルニットの Sample B と比較して更に低い値を示した。表3に4輪用レーシングスーツ Sample A と Sample B を構成する各層の生地が有する熱損失値を示す。両サンプルともに、表地の熱損失はほぼ同じ値を示しているが、裏地の熱損失は異なる。各生地の熱損失値より積層生地における熱損失値の結果を考察すると、熱損失は生地の重ねあわせによる熱損失と裏地ニットの使い方に大きく依存していると考えられる。

実際にレーシングスーツの着用状況・ドライバーの着用環境を考慮すると、ドライバーは着座しているため、レーシングスーツの前面は大気へ熱損失するが、後面はシートへの熱損失になる。レーシングスーツと身体との間に空気層が生じるため、身体の前面はゆとりが発生し、空気層による断熱効果で熱損失が抑制される。また身体の後面は、レーシングスーツと身体が密着するが、シート(座面、背もたれ)への熱損失しか行えない。ドライバーにとって、レーシングスーツを着用したドライビングは、温熱快適性としては非常に過酷だと考える。ゆえに、ドライバーがレーシングスーツと共に身体冷却ユニットを装着することの意義が理解できる。

表3 市販レーシングスーツSample A及びSample Bを構成する各生地が有する熱損失測定結果

Sample A	表地	裏地
顕熱損失(W/m <sup>2</sup> )	133.9	78.5
潜熱損失(W/m <sup>2</sup> )	368.1	177.3
全熱損失(W/m <sup>2</sup> )	502.0	255.8
Sample B	表地	裏地
顕熱損失(W/m <sup>2</sup> )	140.0	116.1
潜熱損失(W/m <sup>2</sup> )	363.3	294.5
全熱損失(W/m <sup>2</sup> )	502.9	410.6

### 3. 2 4輪用レーシングスーツのリバースエンジニアリング

本研究で使用した2種のレーシングスーツ(Sample A, Sample B)及び1種のピットクルー用作業服(Sample C)の形状・縫製の特徴とそれより考察される作業性については次のとおりである。

図4にレーシングスーツAの外観(前面、側面、後面)及び図5に解体パターンを示す。

#### 3. 2. 1 レーシングスーツA(赤/白)

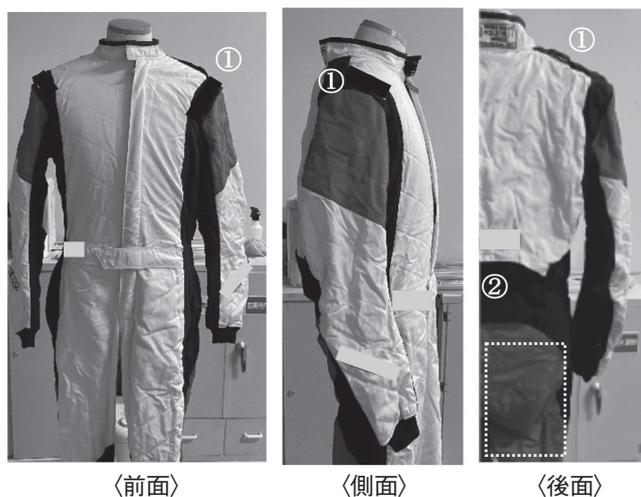
図5よりパターンは、椅座位時にレーシングスーツによる身体の動きのストレスを減少させる構成である。しかし、パターン形状は図5に示すようにパーツが多く、構成が計算された作り方とは考えにくい。レーシングの姿勢である椅座位時の人体または人体模型に合わせて立体裁断を行ったと推察できる。レーシングスーツによる椅座位時のストレス減少を優先した構成であると考えられる。

##### 3. 2. 1. 1 伸縮性素材の利用

レーシングスーツAはアームホール(身頃と袖の間)と腰部に高伸縮素材(ストレッチ)が使用され、椅座位時における動作快適性に工夫が施されている。

##### 3. 2. 1. 2 上肢の上挙運動を支えるアームホール構成

上肢を挙げる際には背幅が拡張し、脇の体表は前挙90°で28%伸長する<sup>10)</sup>。その運動量にレーシングスーツを対応させるために(図4 ①)身頃と袖の間を高伸縮素材で構成し、上挙時背幅や腋



〈前面〉 〈側面〉 〈後面〉

図4 レーシングスーツA 外観

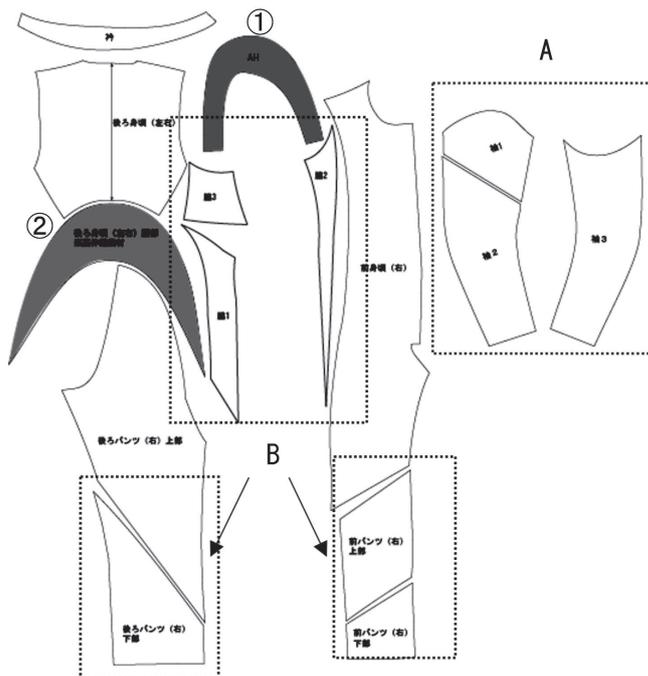


図5 レーシングスーツA 解体パターン

窩の伸張をアシストし、ストレスなく上挙状態を維持することができる。さらに、袖は外袖と内袖の2枚袖から構成し、肘を曲げた状態の湾曲したパターン形状になっている(図5A部)。その反面、図5のB部のパターンや足の切り替え

線の布は高伸縮素材ではなく、布目構成も特別な使い方ではなかった。ハイグレードな仕様であったとしても平面パターンからは考えにくい構成である。縫製の面から考えても非常に縫いやすく縫製工程上効率が良いものとは考えにくい。色の

組み合わせや配置が洗練されていて全体的に審美性の高い（格好良い）デザインである。加えて、デザイン上の構成で切り替え線を増やして色のバランスを取っていたとも考えられる。ゆえに、製作的にとらえると、本スーツは商品としてハイグレードとして展開しているの、大量生産よりは「1点もの」の作りに近く、長い製作期間・高いコストと考える。

### 3. 2. 1. 3 椅座位時の姿勢をサポートする下半身構成

下半身構成の特徴は、後ろの脇線が前より短く、腰部の高伸縮素材（図4②，図5②）を伸ばして前と後ろの脇線（図4 B部）を縫合している。このことにより後ろの腰部から臀部にかけて引張がかかり、椅座位姿勢をアシストする効果が期待できる。静立時から椅座位のウエストライン～殿溝位（股底よりやや下位置）までの体表伸長率は43.7%を超えるため、この分を腰部の高伸縮性素材で吸収していると考えられる。ただし、静立時には臀部にたまり分が生じる（図4＜後面＞内白枠）。

### 3. 2. 2 レーシングスーツB

図6にレーシングスーツBの外観（前面，側面，

後面）及び図7に解体パターンを示す。レーシングスーツA同様，椅座位時にレーシングスーツによるストレスを減少させる部品構成である。図7に示すパターンはシンプルではあるがレーシング時の椅座位時の体表面の伸縮を考慮したパターン構成である。レーシングスーツAが立体裁断によるものだと推測すると，レーシングスーツBは平面裁断によるもので，生産効率はレーシングスーツAと比較し高く，効率の良い縫製工程と考える。レーシングスーツBの構造から見立てるストレスの期待値はレーシングスーツAと同レベルと考える。

#### 3. 2. 2. 1 伸縮性素材の利用

レーシングスーツBはアームホール（身頃と袖の間）と腰部に高伸縮素材（ストレッチ）が使用され，椅座位時における動作快適性に工夫が施されている。

#### 3. 2. 2. 2 上肢の上挙運動を支えるアームホール構成

レーシングスーツAと同様，身頃と袖の間を高伸縮素材で構成し，袖も外袖と内袖の2枚袖で構成する（図7）。



図6 レーシングスーツB 外観

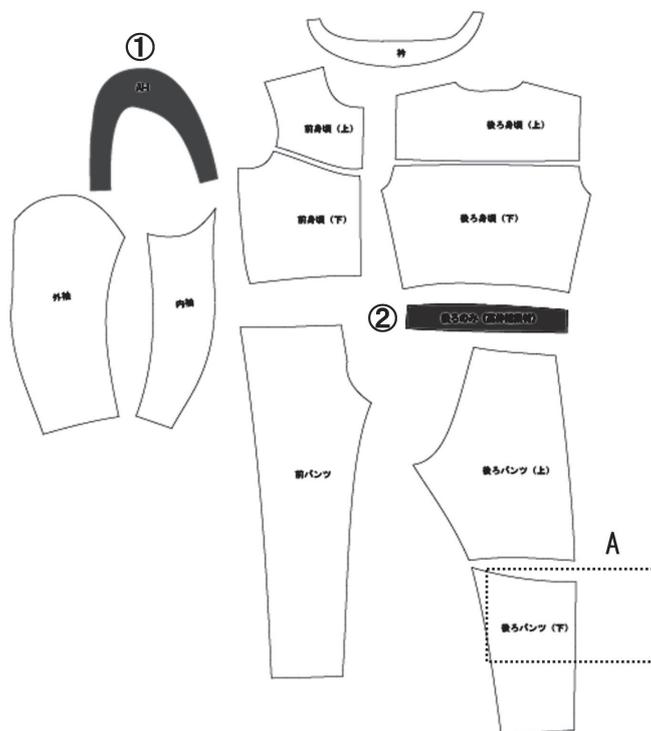


図7 レーシングスーツB 解体パターン

### 3. 2. 2. 3 椅座位時の姿勢をサポートする下半身構成

レーシングスーツBは、図6②と図7②に示す腰部の高伸縮素材(②)で椅座位時の体表伸張に追従できるように構成し、前と後ろの脇線の長さは同寸法になるよう設計している。椅座位時の膝裏は、静立時より体表が-15.5%収縮したため、その分をカットした設計で、レーシングスーツBでは後ろの高伸縮素材分(②)分量でカットしている。さらにカットラインは互いに内側が凹む形をしており(図7 A部)、縫合した際は縫合線が凹み、膝を曲げた状態の形状をアシストすると考える。

### 3. 2. 3 ピットクルー用作業服

図8にレーシングスーツBの外観(前面、側面、後面)及び図9に解体パターンを示す。

ピットクルー用作業服は難燃記事を使用しているが、デザインは一般作業着と同様で、運動機能

性に特化した構成とは考えづらい。静立時には図8に示すように問題ないが、パターンから作業時には上肢の上挙に伴う腋窩と脇線のつっぱり、しゃがむ動作により臀部のつっぱりが生じると考える。

### 3. 3 3Dクロスシミュレータの利用によるモータースポーツ用耐熱服の形状再現

図10に3Dクロスシミュレーターを用いた4輪用レーシングスーツ Sample A及び Sample Bの形状再現の作業ステップごとの結果を示す。上段に使用した2Dパターンデータ、中段にパターンデータと人体データの取り込み、下段に縫製処理による3Dモデル化の結果を示す。図11と図12に図10で作成した3Dモデルのポストプロセッシングを示す。上段に図10のステップで作成した原寸による3Dモデル、中段に人体身長と衣服寸法の調整後、下段に腰を基準とした緩和処理のモデ



図8 ピットクルー用作業服 外観

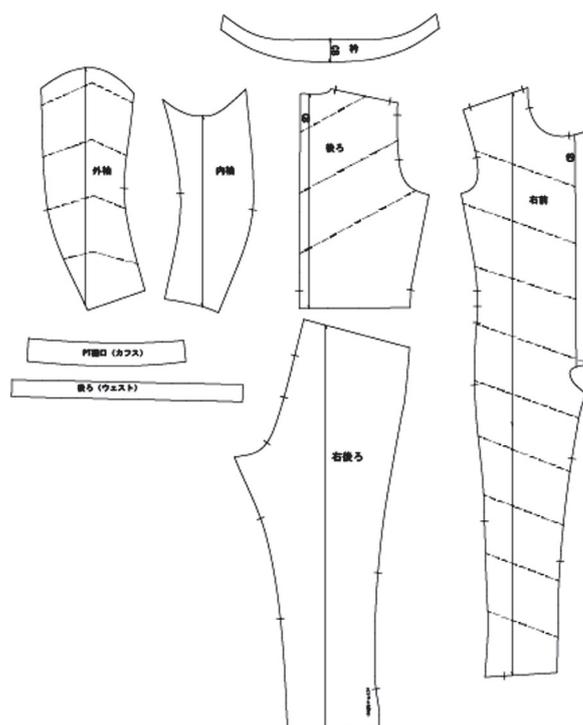


図9 ピットクルー用作業服 解体パターン

ルを示す。寸法調整は、本研究で用いたレーシングスーツの寸法がSample A及びSample Bとで異なること、人体データで用いた20代男性標準マネキンの身長は170 cmであることから実施すべきポストプロセッシングである。調整は身体各部

位に対して個々に施す必要があるが、本研究においては、単純にレーシングスーツとマネキンとの身長に対する寸法比を用いて試行した。上段と中段を見ると、3Dモデルは全体的に大きく膨らみ、ふくらはぎから足首にかけて大きな裾のたるみ

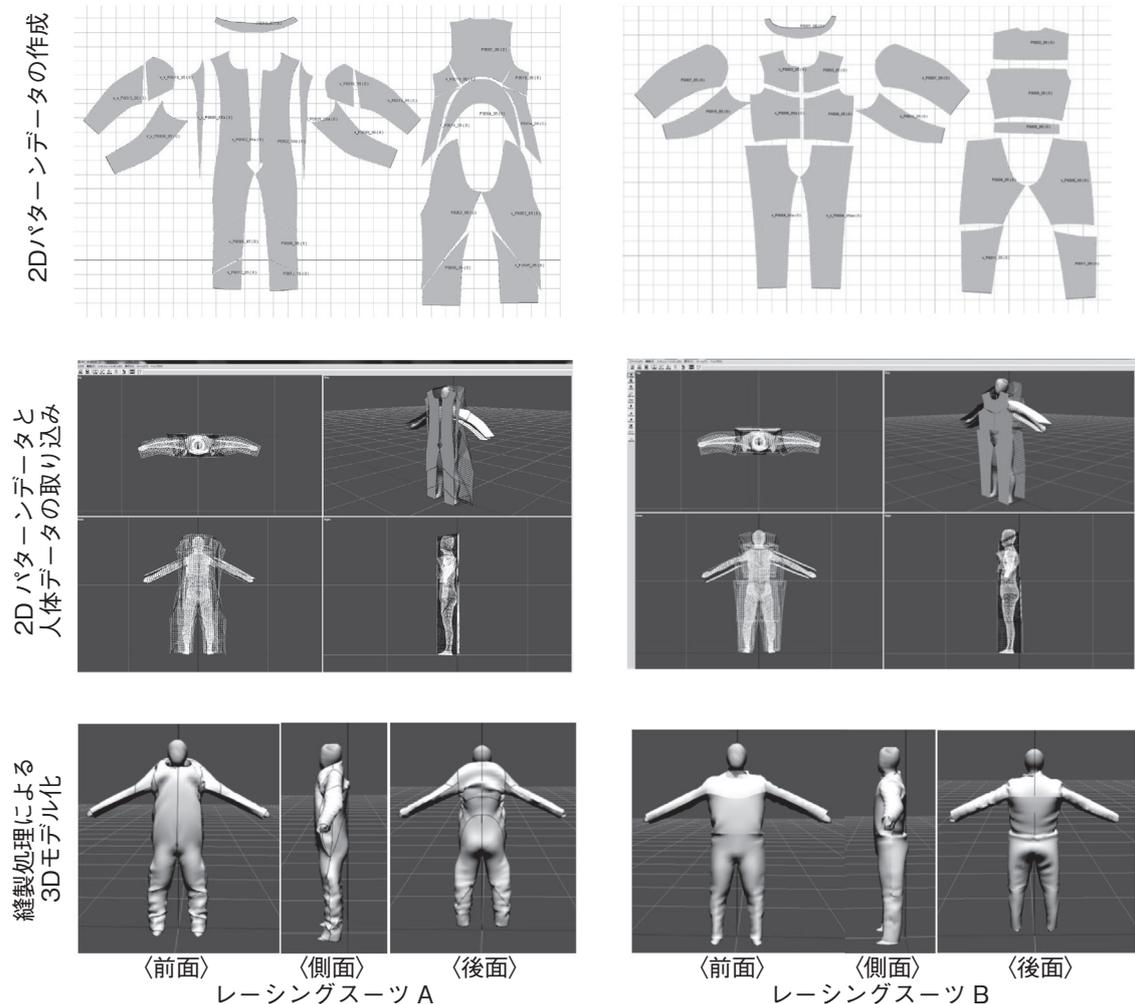


図10 3Dクロスシミュレータの利用によるモータースポーツ用耐熱服の形状再現

見受けられる。については、下段に示すように腰（腰骨部）を基準とした緩和処理（ポストプロセッシング）を行った。腰を基準とした最終3Dデータと表1で示す実際の着用状態と比較すると、本試行にて実施したシミュレーションは、原型にほぼ近い再現を実施できたと理解できる。

#### 4. まとめ

本研究は、将来の効率的な新しい防護服形状・構造の設計手法・温熱/動作快適性の評価としてデジタル手法の活用可能性を検討するため、4輪

用レーシングスーツを例にとり、3Dクロスシミュレーターをツールとしたフィジビリティスタディを実施した。はじめに4輪用レーシングスーツ・ピットクルー作業服をリバース・エンジニアリングし、温熱快適性の問題点の把握、形状解析から得られたそれぞれの服が有するパターンメイキングの特徴を把握した。次に、紙パターンをデジタル化し、20代男性の平均体型マネキンのデジタルデータと合わせ、3Dクロスシミュレーターを利用した4輪用レーシングスーツの形状再現、再現後のポストプロセッシングのトライアルを実

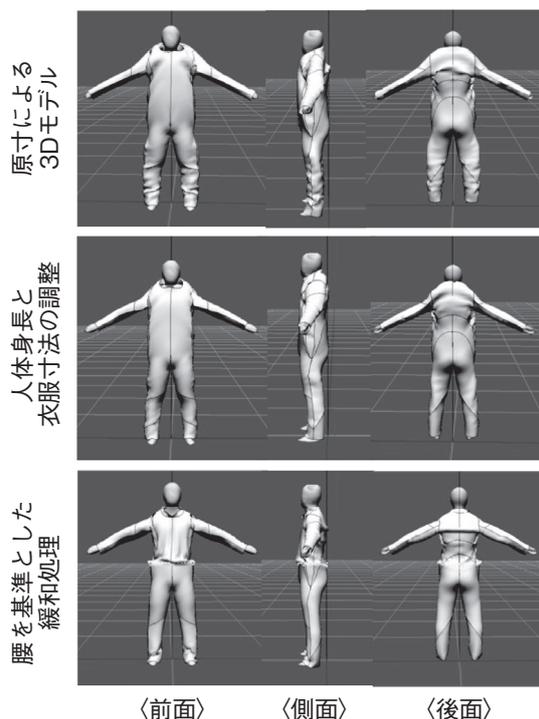


図 11 3Dクロスシミュレータの利用によるモータースポーツ用耐熱服の形状再現・ポストプロセッシング (レーシングスーツA)

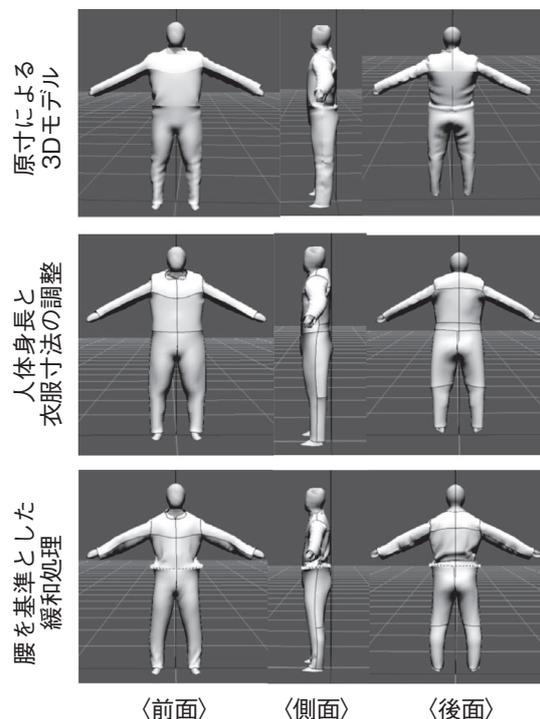


図 12 3Dクロスシミュレータの利用によるモータースポーツ用耐熱服の形状再現・ポストプロセッシング (レーシングスーツB)

施した。4輪用レーシングスーツは表地にキルト地の耐熱生地，裏地にニット地の耐熱生地が使用されており，生地を介した代謝熱の外気への損失はこれら生地の重ね合わせに起因し，座位という特徴から代謝熱の効果的な除去に冷却システムの必要性を確認した。パターンメイキングはレーシングスーツ・ピットクルー用作業服ともにグレードにより異なり，座位を想定したエルゴノミクス的なデザイン手法を用いていた。3Dクロスシミュレータによるレーシングスーツの形状再現は，基本データとなるパターンのデジタル化，人体形状データ，生地の物理特性に大きく依存するが，いくつかのポストプロセッシングを用いることにより着用状況に非常に近く再現可能であると確認した。デジタルフィッティング技術はファッションアパレル・スポーツアパレルに活用され始めているが，本研究の成果により，防護服の設計に対し

でも活用可能であることを示した。

## 謝 辞

本研究に対してご助成賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。また，本研究の遂行にあたり，信州大学繊維学部木村そらさん（森川研究室），小林陽太さん（若月研究室），渡邊憲道特任准教授に試験，3Dシミュレーションの実施など協力をいただきました。ここに感謝の意を表します

## 文 献

- 1) 株式会社 ZOZO, “ZOZOの計測テクノロジーをもっと多くの人とサービスへ,” <https://corp.zozo.com/measurement-technology/>, アクセス20220121
- 2) 株式会社 ジンズ, “JINSアプリ登場 !! JINS - 眼鏡 (メガネ・めがね),” <https://www.jins.com/jp/jinsapp/>, アクセス20220121

- 3) Federation Internationale de l'Automobile, Protective Clothing for Automobile Drivers, <https://www.fia.com/fia-standard-8856-2000-protective-clothing-automobile-drivers-updated-10072015> (2018)
- 4) International Organization for Standardization, Protective clothing for automobile racing drivers — Protection against heat and flame — Performance requirements and test methods, <https://www.iso.org/standard/23530.html> (1999)
- 5) 一般社団法人 日本自動車連盟 (JAF), JAF国内競技車両規則 第4編細則 レース競技に参加するドライバーの装備品に関する細則 [https://motorsports.jaf.or.jp/-/media/1/3375/3379/3400/3462/3464/3485/2021\\_jaf\\_04\\_saisoku\\_race\\_soubi.pdf](https://motorsports.jaf.or.jp/-/media/1/3375/3379/3400/3462/3464/3485/2021_jaf_04_saisoku_race_soubi.pdf) (2021)
- 6) International Organization for Standardization, Protective clothing — Protection against flame — Method of test for limited flame spread. <https://www.iso.org/standard/61739.html> (2016)
- 7) International Organization for Standardization, Protective clothing against heat and flame - Determination of heat transmission on exposure to flame. <https://www.iso.org/standard/55326.html> (2016)
- 8) International Organization for Standardization, Clothing and equipment for protection against heat — Test method for convective heat resistance using a hot air circulating oven. <https://www.iso.org/standard/61513.html> (2016)
- 9) ASTM International, Standard Test Method for Thermal and Evaporative Resistance of Clothing Materials Using a Sweating Hot Plate, <https://www.astm.org/f1868-17.html> (2017)
- 10) 中澤愈, 衣服解剖学, pp.162-pp.216, ISBN:978-4991107177, 築田研究室 (2020)