「アパレル」特集

衣服設計用 CAD の動向

今 岡 春 樹・渋 谷 惇 夫

1. はじめに

アパレル分野で利用される衣服設計用 CAD システムは、近年の計算機技術の発展により、より高度に、またより広範囲な分野に拡大している。高度化という意味は、3次元 CAD と呼ばれる研究開発に代表される¹⁾・²⁾・広範囲という意味では、衣服設計用 CAD を設計工程に先立つ企画工程まで含めて広義にとらえると、ファッションデザインシステム³⁾、コンセプトプレゼンテーションシステム⁴⁾等の計算機支援システムの研究も進んでいる。さらに、アパレル分野だけでなく、CG (Computer Graphics) の分野で布地の表現技法の研究が数多く見られるようになってきた⁵⁾・⁶⁾。

これらの研究の流れを技術的に見ると、プレゼンテーション技術の高度化と設計技術の3次元化の2つの大きな流れがあると思われる。ここでは、後者の設計工程に係わる技術を中心にその研究動向を述べることにする。

2. アパレル CAD の動き

すでに実用化され稼働中のグレーディング、マーキング、パターンメイキング (ドラフティング) 等のシステム^{7)~9)}を第1世代の CAD とすると、近年研究開発が進められているサンプルメイキング、パターンメイキング (ドレーピング) 等の研究は第2世代の CAD と呼ぶのがふさわしい。第1世代では、衣服設計のための基本となる設計図である「型紙」を2次元上の図形として計算機内で取り扱うことを基本としている。これに対して、第2世代では、型紙そのものよりも、出来上がった「衣服」を計算機内で処理することを基本としている。衣服は3次元上の図形として、さらには素材としての布の性

質を考慮したものとして取り扱われる。

3次元 CAD システムは、衣料分野よりはむしろ自動車、航空機、家電製品、機械、建築等の分野の方が進んでいる。これらの CAD システムと比較して、衣服設計用 CAD の特徴を考えて見ることにする。衣服が上記の分野の製品と異なる特徴的な点として、①布は柔らかい②衣服は人が着る、の2点を挙げることができる。これらの特徴は、衣服設計用 CAD を構築する上で、技術的課題に直接つながるものである。布の持つ柔らかさは、設計段階における形状予測の困難さにつながり、人が着るということは、サイズやフィット性の問題につながる。現在の衣服設計工程では、布の柔らかさに対しては、ドレーピングや試作という実際に布を使った工程で対応し、人体の形に関しては、体型分類やグレーディングによって対応している。

本解説では、この人体形状と布の柔らかさの2つの問題点に係わる研究について述べることにする。なお、紙面の都合上言及出来なかった多くの研究があると思われるが、その点についてはあらかじめ深謝しておきたい。

3. 人体計測と人体モデル

衣服が人体に着用されるものである以上、人体形状に関する研究は第2世代のアパレル CAD の構築にとって大きな柱となる。人体形状の研究は、人体計測と人体モデルの2つに分けて考えることができる。

3.1 人体計測

衣服分野における人体計測の目的は、人体に適合するためのパターン作成および衣服の着用時の評価または予測に分けることができる。衣服設計用 CAD の分野では、これらの目的を計算機上で行うために、人体の3次

今岡 春樹氏

渋谷 惇夫氏

Recent Technology of CAD System for Garment Design

筆者紹介 HARUKI IMAOKA, ATSUO SHIBUYA

Research Institute for Polymers and Textiles

繊維高分子材料研究所

今岡氏は材料設計研究室主任研究官、工学博士、アパレル CAD を専門分野とし、「コンピューターによる布の大変形解析に関する研究」によって昨年本学会横田武記念賞を受賞されている。

渋谷氏は材料設計研究室長、医学博士、材料の計測・評価及び医用工学を専門分野とし、自動縫製システム、アパレル CAD、生体計測の研究を進められている。本稿ではアパレル CAD に関する最近情報と今後の方向について解説していただいた。

元形状や寸法の情報を短時間にかつ精度良く、直接計算機に取り込むことのできる計測装置の開発が重要である。しかし、衣服設計に使用し得る人体計測装置の開発は進められているが、一長一短があり、まだ完全なものはないといえる。その理由は、人体は常に微妙に運動しており非静止的であるため、短時間で計測しなくてはならず、またかなり複雑な自由曲面を計測しなくてはならないことなどである。

接 触 式	一次元計測	マルチン計測器 巻尺 ノギス
	二次元計測	スライディング・ゲージ法 正接リボン法
	三次元計測	タッチ・プロープ式
非 接 触 式	一次元計測	光学方式 超音波方式
	二次元計測	シルエット法 光切断法 包絡線法
	三次元計測	ステレオ写真法 立体視法 モアレ・トポグラフィ法 パターン投影法 非接触三次元測定機

表1 衣服設計における人体測定法の分類

従来の人体計測方式の分類を表1に示す。

このうちのいくつかは、衣服設計用CADのための人体計測装置として開発が試みられている。人体の形状を測定するためには、次のような要件が必要である。

- ①非接触で計測できる。(人体を変形させない)
- ②3次元のデータが得られる。(形態計測ができる)
- ③短時間で計測できる。(静止の計測)
- ④被験者に負担がかからない。(無駄な動作をしない)
- ⑤操作が簡単である。(熟練を要しない)

これらの要件を満たすことを目的として開発された例について紹介する。

中小企業事業団で開発した非接触3次元人体計測装置は、レーザー光源、回転ミラー、CCDイメージセンサーからなる6個の距離検出装置により、水平にある体表面までの距離を計測し、これを上下に移動させることによって人体の体表面を縦横4mmの間隔で計測し、その3次元データをコンピュータで処理し、人体形状、寸法情報に変換するものである。計測時間は全身で約4分である。そのシステムの外観図と計測結果の例を図1、図2に示す¹⁰⁾。

最近、3次元曲面形状を可視半導体レーザーを用い非接触、短時間(採寸としては16~32秒程度)で25万点の

図1 3次元人体計測装置の外観

図2 人体形状計測結果例

3次元データをコンピュータに入力できる装置が開発されている¹¹⁾。測定原理は光切断法によるもので、スリット光を測定対象の表面全体に回転走査し、これをテレビカメラで撮影する方式である。この装置の特徴は、この様にして得られたスリット光が通過した瞬間にリアルタイムで形状を演算できるところにある。

3.2 人体モデル

衣服設計に人台が用いられている様に、計算機の中でも人台を用いる必要がある。人台の利用法としては、原型作成に代表されるように、型紙を作る元になる形として、また、試作後着用させ評価するためのマネキンの役割が考えられる。

この様に人体の形状を計算機で取り扱う必要があるが、そのためには計算機向きの人体モデルが必要となる。

人体形状のモデリングの研究は、衣服設計の分野のみならず様々な分野で行われている。

鈴木¹²⁾、小松¹³⁾はアニメーションの世界で、動く人体モデルを作成している。このモデルは棒状の骨格モデルと、そのまわりの2種類のパッチによる皮膚モデルから構成されている。

P. L. Rothwell 氏¹⁴⁾は、人間工学的立場から、人の動きをシミュレートし、工場の機器配置の設計に用いている。

広田ら¹⁵⁾は、スプライン曲面を用いた人体形状のモデリングを行っている。このモデルは、アパレル用CADを意識したもので、計測からモデルによる表示までの一貫したシステム作りを行っている。

T. Furukawa 氏¹⁶⁾は、閉曲線のフーリエ近似表現を基本としたモデリングを行っている。

清水ら¹⁷⁾は人体シルエットのフーリエ表現により体型分類や標準化を試みている。

今岡ら¹⁸⁾は衣服設計用CADで利用するため、人体モデルとして人体表面形状およびその法線方向の情報を持つものを考え、衣服の着装状態の予測に用いている。さらに数個のパラメータでマルチポーズが可能な人体モデルの研究も行っている¹⁹⁾。

今後、静立時の人体表面の形状だけでなく、マルチポーズさらには動く人体モデル、表面のみの剛体モデルではなく、変形する柔軟な人体モデルが必要であろう。

4. 布・衣服形状生成・予測法

布が柔らかいということは、CADの構築という観点からは特別な意味を持っている。CADを用いて衣服の意匠設計を行おうとした時、剛体のように人工的に形状を作成しても、必ずしも自然な形状とは成り得ない。柔軟であることが、着脱したり着用して動作したりするために必要な機能である半面、その形状予測は一般に困難

である。

この柔らかさに対して、近年様々なアプローチが成されてきた。服地や布に限定して考えると、CGの世界からのアプローチとCADの世界からのアプローチを上げることができる。

CGからのアプローチは、布らしい形とはどのような存在形態の時に最も典型的であるか、またその形状をいかにして生成するかが基本となる。CADからのアプローチは、衣服設計における衣服の形状を表現する場において、いかに本物と同様の情報を与えるかが基本となる。

視覚情報という点からは、もちろん、形に付随する色柄(材質感)や動きも形同様にあるいはそれ以上の重要性を持つ。

布の表現方法としては、布が薄い物体であることを考慮して、3次元空間上の曲面として取り扱うのが一般的である。空間座標 (x, y, z) を布が存在する場所を示すものとする。布の形を記述するために、まず (u, v) を平面上の標準状態の座標と考える。布に固着した曲線座標 (u, v) によって布上の点が定められ、それが空間上のどの位置にあるかがわかれば形が定まる。

$$\begin{aligned} x &= x(u, v) \\ y &= y(u, v) \\ z &= z(u, v) \end{aligned} \quad (1)$$

(1)式の対応関係が明確であれば、布の変形を力学的に解析したり、色柄に対してはテクスチャマッピングの技法²⁰⁾が直接応用できる。結局、布や衣服の形状の生成や予測の問題は(1)式を具体的にどの様にして求めるかということになる。

4.1 CGによる服地・布の生成技法

CGからのアプローチは、自然物体の表現法²¹⁾の流れが中心と考えられる。

J. Weil²²⁾は布らしさの例題として、数点が固定されたゆるみのあるハンカチの表現を用いた。まず2次元上での数個の点については3次元座標値が定まっており、固定されているという条件のもとで、他の点の3次元座標値を求めるという問題設定になっている。すでに3次元座標値が求まっている数個の点を2次元上で結び、その線上の点については、3次元上のカテナリー曲線上にあるとして3次元座標値を求める。これを再帰的に繰り返すことによって形状生成を行っている。

D. Terzopoulos²³⁾は、布のダイナミックな動きと剛体への接触問題を布らしさの例題として用いた。旗のたなびきや、剛体の円柱や球が置いてある床にカーペットを敷いた場合を表現している。形状生成技法は、物理法則によるシミュレーションを基本としている。旗のたなびきのシミュレーションは、布の運動方程式を差分法で

解くことによって実現している。接触問題に対しては、剛体の内部に布が入ろうとした時、外に押し出す力が働くような定式化を行っている。

安居院²⁴⁾は、束縛条件の強い状況での、しわの発生の表現を試みた。腕を曲げた時に袖にできるしわを布らしさの例題とした。生成技法は、布はたてとよこの糸から構成されており、糸はほとんど伸び縮みしないという条件をなるべく満たす方向に形状を変化させて行くことを基本としている。袖にできるしわは、曲げによって縮む部分をもとの長さに保つために発生すると解釈される。さらに、しわの発生を時間的な変化とともに表現することも示している²⁵⁾。

4.2 CADによる衣服立体形状の生成・予測

CGからのアプローチが布らしさの表現を重視したものであるのに比較して、CADからのアプローチは対象を衣服に限定し、その設計工程の計算機化を目指したものである。CADにおいても、柔らかさに対するアプローチが最大の課題である。

安居院²⁶⁾は、人体寸法の採寸から、原型(洋服を作る時の基本になる型紙)を自動的に作成し、さらにそれを立体化した。こうして生成された形状は人体の形状にほぼ一致する。これを人体にぴったりフィットした衣服と考えると、2次元と3次元の対応が明確であるので、デザイン線を3次元上で入力し2次元上の対応する線を求めたり、テクスチャマッピングにより衣服作成前に色柄の評価を行ったりすることができる。

山川²⁷⁾は基本デザインの衣服を実際に作り、そのパターンと、着用時の2方向からの写真から得られる特徴線図を計算機入力し、パターンと特徴線図との対応関係を用いて、特徴線図上でデザインの変更を行うとパターンが変更されるシステムを開発している。

和知²⁸⁾は3次元の形状そのものを作り出す、3次元パターンエディタを開発している。

宇田²⁹⁾は、布が垂下した状態に着目し、スカートのドレープ形状を題材とし、その形状生成を行った。形状生成のための基本的考え方は、フラクタル手法による再帰的アルゴリズムである。スカートの横断線を考え、もとの長さになるまで、3角形の再帰分割を繰り返し、ひだを生成している。

宗円³⁰⁾は、布を格子模型でモデル化し、シミュレーションによって衣服の着用状態を予測する研究を行っている。さらにニットの變形をシミュレートすることも試みている。³¹⁾

今岡¹⁸⁾は、物理法則に従った衣服形状予測法の研究を行っている。形状生成技法は有限要素法によるシミュレーションを基本としている。この予測法をスカート

図3 衣服形状予測法の応用例

やブラウスに应用している。このシステムは、型紙の形状、布の力学特性、人体の形状、着付けの仕方の4つの情報を入力すれば、衣服の予測形状を出力する。2次元と3次元の対応は明確である。このシステムのブラウスへの応用例を示す。これは布地の色柄を予測形状の上にマッピングしたものである³²⁾(図3)。このシステムは直接は試作工程のCADシステムであるが、人体との接触問題を取り扱っているため、衣服が人体に及ぼす接触圧を知ることができ³³⁾、衣服のフィット性評価にも用いることができる。人体形状は個人個人のものを使用してかまわないので、試作というよりは「個人の試着」システムへの発展が考えられる。

4.3 原型作成のための平面展開

衣服の形を予測するための基礎技術である、布の変形解析手法は、衣服形状予測だけでなく、人体にぴったりフィットした型紙作成にも応用することができる。

一般に空間上に曲面図形があった時、それに対応する平面上の平面図形を求めることを、平面展開問題と呼んでいる。例えば世界地図は地球を平面展開したものである。人台に布を当てフィットした型紙(原型)を作ることも平面展開問題として捉えることができる。

Heisey ら³⁴⁾は四角形パッチを用い、四辺の長さを変えず角度のみに自由度を与えて平面展開を行っている。和知³⁵⁾は立体形状を断片に分け、それぞれを展開した後平面上でつなぎ合わせる方法を探っている。

島田ら³⁶⁾は有限要素法を用い、平面展開問題を熱応力問題に置き換え、物理的に自然な平面展開を行っている。応用として、靴の展開図を求めている。

今岡ら³⁷⁾は平面展開に対して物理的解釈を与え、有限要素法で展開図を得ている。物理的解釈として、展開したい曲面の凹型と凸型を作り、その間に布を挟む時に出来る布の形状を、平面に戻したときの形を平面展開図としている。前身ごろに应用した例としてその展開図が実際によくフィットしている図を示す(図4)。

図4 平面展開手法の応用例

5. おわりに

以上衣服設計用CADの動向を述べてきたが、今後これらの研究が融合し統合化されて行くと考えられる。人体形状の研究は衣服設計用CADの研究とより密接な関係になるであろう。またCG分野で行われた研究もCADに積極的に取り入れられるであろう。これらの各分野の研究者が共同して研究する必要性が益々大きくなっているように感じられる。少なくとも異分野で独立になされている研究の情報交換を活発に行う必要がある。

本解説では触れなかったが、以上の様な横との連携だけでなく、織物・編物設計さらに糸の設計等の縦方向の連携も必要である。

さらに衣服設計用CADはより感性を含んだ設計へと

進展して行くと思われる。これらの領域では、多変量解析手法、AIやファジィといった分野の研究とも連携が必要になるであろう。

広い意味で繊維科学と情報科学とをちょうど縦糸横糸のように組合せた科学が必要とされている時代にきていられると思われる。

参考文献

- 1) G. Waddell: *Apparel International*, **14**, 5, 5 (1988)
- 2) 岡部秀彦, 今岡春樹: *PIXEL*, No. **75**, 12, 163 (1988)
- 3) 加藤陽一, 近藤邦雄: *情報処理*, **29**, 10, 1160 (1988)
- 4) 真名垣昌夫: *計測と制御*, **28**, 2, 161 (1989)
- 5) 篠原 昭: *繊維学会誌*, **45**, 11, p-488 (1989)
- 6) 今岡春樹: *情報処理学会研究報告*, **89**, 68, 93 (1989)
- 7) 平松治也: *繊維科学*, **28**, 5, 24 (1986)
- 8) 荻野和孝: *繊維科学*, **28**, 5, 31 (1986)
- 9) 加藤英昭: *繊維科学*, **28**, 9, 18 (1986)
- 10) 中小企業事業団: *中小企業のための技術開発シリーズ*, No. 86, *人間工学応用人体計測解析利用システム技術開発 (昭和60年度)*
- 11) 上杉満昭, 猪股雅一: *第4回産業における画像センシング技術シンポジウム講演論文集*, p. 235
- 12) 鈴木鎮男: *PIXEL*, No. 46, 115 (1986)
- 13) 小松功児: *情報処理学会論文集*, **29**, 1, 7 (1988)
- 14) P. L. Rothwell and D. T. Hickey: *Proc. of the Human Factors Society 30th Annual Meeting*, 216 (1986)
- 15) 広田源太郎, 黒川隆夫, 篠崎彰大, 中野 広: *計測自動制御学会 3rd Symposium on Human Interface*, 183 (1987)
- 16) T. Furukawa, N. Yamanoi, H. Tanaka, K. Yajima, T. Aoki, K. Aoki, S. Kinoshita and K. Hirayanagi: *Proc. of 8th Cong. Intern'l Ergonomics Assoc.*, 224 (1983)
- 17) 清水義雄, 汪 進, 近田淳雄, 寺田恭子, 雲田直子, 神田和子: *繊維学会誌*, **45**, 5, 199 (1989)
- 18) 今岡春樹, 岡部秀彦, 赤見 仁, 渋谷惇夫, 相坂 登, 富羽高子, 山田正紘: *繊維学会誌*, **45**, 10, 420 (1989)
- 19) 今岡春樹, 庭屋晴夫, 渋谷惇夫, 相坂 登: *繊維学会第3回計測と評価に関するシンポジウム*, B-86 (1989)
- 20) J. F. Blinn, M. E. Newell: *Communications of the ACM*, **19**, 10, 542 (1976)
- 21) 中嶋正之: *情報処理学会研究報告*, **89**, 68, 69 (1989)
- 22) J. Weil: *ACM SIGGRAPH '86*, **20**, 4, 49 (1986)
- 23) D. Terzopoulos, J. Platt, A. Barr, K. Fleischer: *ACM Computer Graphics*, **21**, 4, 205 (1987)
- 24) 安居院 猛, 大川雅弘, 中嶋正之: *信学春季全大*, 2-285 (1988)
- 25) 安居院 猛, 西井育生, 中嶋正之: *信学春季全大*, 6-359 (1989)
- 26) 安居院 猛, 金子嘉和, 中嶋正之: *信学論文集*, **J69-D**, 3, 451 (1986)
- 27) 山川 勝, 黒木 恵, 牛若せつ子: *武庫川女子大学紀要*, **31**, 被97 (1988)
- 28) 和知孝雄: *大阪市立大学生生活科学部紀要*, **31**, 125 (1983)
- 29) 宇田紀之, 鶴岡信治, 木村文隆, 三宅康二: *第4回 NICOGRAPH 論文集*, 249 (1988)
- 30) 宗円寿一, 吉原正明, 野村 聡: *繊維学会昭和59年度年次大会*, p 73 (1984)
- 31) 宗円寿一, 呉 偉良: *平成元年繊維学会年次大会*, S-44 (1989)
- 32) 富羽高子, 山田正紘, 田中豊喜, 佐野 操, 今岡春樹, 岡部秀彦, 赤見 仁, 渋谷惇夫, 相坂 登: *平成元年度繊維高分子材料研究所研究発表会資料*, 212 (1989)
- 33) 庭屋晴夫, 今岡春樹, 渋谷惇夫, 相坂 登: *繊維学会第3回計測と評価に関するシンポジウム*, B-95 (1989)
- 34) F. Heisey, P. Brown and R. F. Johnson: *The Textile Institute, Annual World Conference*, Sept., Hong Kong, P 311 (1984)
- 35) 和知孝雄: *大阪市立大学生生活科学部紀要*, **31**, 135 (1983)
- 36) 島田哲夫, 多田幸生, 坂本英男, 村上 明: *日本機械学会誌論文集 (C編)*, **54**, 498, 497 (1988)
- 37) 今岡春樹, 渋谷惇夫, 相坂 登: *繊維学会誌*, **45**, 10, 427 (1989)

(平成元年12月22日受理)