

椅子のデザイン支援・評価システムの開発

800123455 松本美緒 指導教員 青山英樹

1. 緒言

椅子の設計・製造プロセスは、椅子形状の複雑性、多様性のために、自動化および支援システムの導入が遅れている。従来、椅子の設計プロセスにおいて、デザイナーは構想イメージや形状イメージをスケッチで表現しながらアイディアを具現化していく。したがって、デザイナーからの設計解は、一般的にスケッチとして提出される。その後、スケッチを基に3次元実モデルが試作され、様々な視点からの形状評価、実際に着座したときの力学的安定性、そして着座時の座り心地^[1]について、実空間において評価が行われる。ここで十分な評価が得られなければ、スケッチによるデザインプロセスまでフィードバックされることになり、実空間でこの様なプロセスを繰り返すことは、時間、コストの負担が大きく、改善が強く求められている。

本研究では、上記の問題を解決するため、椅子のデザインスケッチから簡易に3次元デジタルモデルを構築し、実モデルを試作することなく、バーチャル空間において、異なる視点からの形状評価、着座時の力学的安定性と座り心地の評価を可能とする椅子のデザイン支援・評価システムを開発することを目的としている。

2. 提案するシステムの概要

提案するシステムは、3次元モデル構築システムと評価システムにより構成されている。

3次元モデル構築システムは、紙に描かれたデザインスケッチをスキャナによりデジタルデータとして入力し、それをディスプレイに表示して、登録されている椅子フィーチャを入力されたスケッチにあてはめながら配置することにより、容易に3次元デジタルモデルを構築することができる。

評価システムは、バーチャル空間において、スケッチから構築された椅子の3次元デジタルモデルに対する視点を任意の位置に設定することにより、任意の方向から形状の評価を行うことができる。また、デジタルヒューマンモデルをデジタルモデル椅子に着座させ、力学的安定性を評価するとともに、尻滑り力と座面に加わる圧力分布を定量的に明らかにすることにより、座り心地の評価を行うことを可能としている。

3. 3次元モデル構築システム

以下の手順により、3次元デジタルモデルを構築する。

- (1) デザインスケッチをスキャナによりシステム内にデジタルデータとして入力する。
- (2) 入力されたスケッチをディスプレイ上に表示し、座面コーナーの4点をマウスクリックにより、4点のディスプレイ座標系座標値を検出する。
- (3) 検出された座面コーナー4点のディスプレイ座標値からスケッチの仮想視点方向が自動的に認識される。
- (4) スケッチの仮想視点方向の認識に基づき、システムに登録されている椅子構成要素のフィーチャをディスプレイに表示されているスケッチにあてはめながら配置することにより、3次元デジタルモデルが構築される。
- (5) ローテーションボールを用いて、3次元デジタルモデルに対する視線方向を任意の角度に設定することができ、これにより任意の方向から椅子の形状を表示できる。

4. 評価システム

4.1 形状の評価機能

スケッチから構築された3次元デジタルモデルの形状を任意の方向から評価し、高い評価が得られていない場合には、フィーチャパラメータの変更により、容易に形状を修正することが可能である。

4.2 機能の評価機能

3次元モデル構築システムで構築された3次元デジタルモデルにデジタルヒューマンモデルを着座させ、椅子の機能について、力学的安定性、尻滑り力、座面の圧力分布から評価を行う。機能評価において、表1に示すように、デジタルヒューマンモデルの大きさ・体重、椅子の素材、着座姿勢を指定することができる。

表1 機能評価のための基本情報

対象	選択肢	読み込まれる情報
デジタルヒューマンモデル	(男/女, 5/50/95パーセントイル)	身体パーツの寸法, 体重, 臀部の硬さ
椅子の素材	ウレタン/合板	摩擦係数 応力たわみ関数
着座姿勢	Polite/Sloppy	身体パーツ位置情報

(1) 力学的安定性評価

図1は、デジタルヒューマンモデルおよび床が椅子に作用している力を示している。ヒューマンモデルの頭、胴、大腿の重さを M_{head} , M_{body} , M_{thigh} とし、各部分の重心位置にそれぞれの重さが作用しているとすると、これらは、図1に示されるように、6つのベクトル F_{head} , F_{body} , F_{hip1} , F_{hip2} , F_{thigh1} , F_{thigh2} に分解・統合でき、式(1)~(6)で表される。

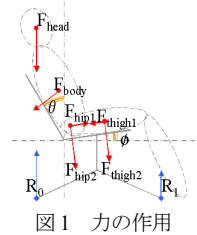


図1 力の作用

$$F_{head} = M_{head} \quad (1)$$

$$F_{body} = M_{body} \sin \theta \quad (2)$$

$$F_{hip1} = M_{body} (\cos \theta - \kappa \sin \theta) (\sin(\theta - \phi) - \mu \cos(\theta - \phi)) \quad (3)$$

$$F_{hip2} = M_{body} (\cos \theta - \kappa \sin \theta) \cos(\theta - \phi) \quad (4)$$

$$F_{thigh1} = |M_{thigh} \sin \theta - F_{hip1}| - \mu F_{thigh2} \quad (5)$$

$$F_{thigh2} = M_{thigh} \cos \phi \quad (6)$$

また、このとき μ , κ はそれぞれ座面と背もたれの摩擦係数であり、式(7), (8)を満たす。

$$\mu \leq \tan \phi - \frac{M_{body} (\cos \theta - \kappa \sin \theta) (\sin(\theta - \phi) - \mu \cos(\theta - \phi))}{M_{thigh} \cos \phi} \quad (7)$$

$$\kappa \leq \frac{1}{\tan \theta} \quad (8)$$

(2) 尻滑り力の解析による座り心地評価

尻滑り力とは、自重によって発生する座面上を滑らせようとする力を意味している。図1において F_{thigh1} は、式(5)からもわかるように、 μ が式(7)を満たさない場合に発生する。そこで、 $F_{thigh1} > 0$ の時、尻滑り力により着座している人間は背もたれ方向に押し付けられる力を受ける。また、 $F_{thigh1} < 0$ の時、人間は前方に滑り出す力を受ける。

(3) 座面における圧力分布の解析による座り心地評価

椅子の座面素材ごとに、荷重たわみ関数が登録されている。また、デジタルヒューマンモデルは、そのサイズ(大きさ、体重)に応じて臀部モデルが構築される。臀部モデルは、図2に示されるように2枚のベジェ曲面で構成され、解析においては、231(11×21)の点群が代表点として用いられる。

臀部モデルには、頭と胴により生ずる座面に垂直な成分 F_{hip2} と大腿により生ずる座面に垂直な成分 F_{thigh2} 、および足先が着地しない場合に脛脛の荷重 M_{calf} が加わる。そのとき、それらの力成分は、図3に示すように配分されるものと仮定し、臀部モデルの各点の荷重モデル $W_{(i,j)}$ が求められる。

図4に示す実線は臀部モデルの初期状態を示している。臀部各点に荷重モデル $W_{(i,j)}$ から得られた荷重を与え、システムに登録されている荷重-たわみ関数から各点の座面の変位量を求める。その結果が、図4において一点鎖線で示されている。臀部各点の荷重は、同時に、臀部をも変形させる。その変形量は、臀部モデル各点に割り当てられた変形係数から導出され、座面の変位量を補正する。

臀部モデルが座面に接触している面積 $\times ((F_{hip2} + F_{thigh2}) / \text{臀部モデル面積})$ と F_{hip2} と F_{thigh2} の合計値の差 D_f を臀部モデル全域に加え、上記のプロセスを行う。このプロセスを差 D_f が閾値(0.05)より小さくなるまで繰り返す。最後に、臀部モデル各点の変位量から、荷重-たわみ関数から各点に加わる力を求める。

5. 構築したシステムの評価

5.1 3次元モデル構築システムの評価

図5(a)は、スケッチをスキャナで読み込み、自動的に軸が配置された結果である。同図(b)は、スケッチ上に椅子フィーチャをあてはめて配置し、3次元デジタルモデルを構築した結果を示しており、これより、開発したシステムは、スケッチからフィーチャの配置作業で容易に3次元デジタルモデルを構築できることが確認された。

5.2 評価システムの評価

図5(c), (d)は、構築された3次元デジタルモデルに対する視点を変えた結果を示している。また、構築された3次元デジタルモデルは、フィーチャのパラメータの変更により、簡単に形状を修正できることが確認された。これより、多視点からの椅子の形状を評価し、同時に簡単な操作で形状を修正できることが確認された。

力学的安定性評価と尻滑り力と座面の圧力分布解析より座り心地評価を行った。図6は、図5に示した椅子モデルに対して、50パーセントの男性のバーチャルヒューマンモデルを着座させた場合の結果の一例を示している。図6(a)は、ウレタン素材に正座した場合の脚が床から受ける力を示している。この脚が受ける力により、椅子の力学的安定性を判断できる。また、同図(b)は、ウレタン素材にだらしなく座った場合の結果を、同図(c)は、合板素材に正座した場合の結果を

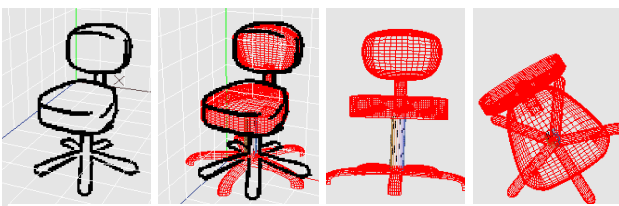


図5 3次元モデル構築結果

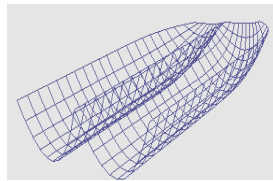


図2 臀部モデル

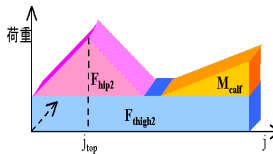


図3 荷重分布

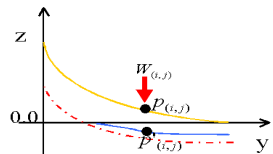


図4 たわみ算出

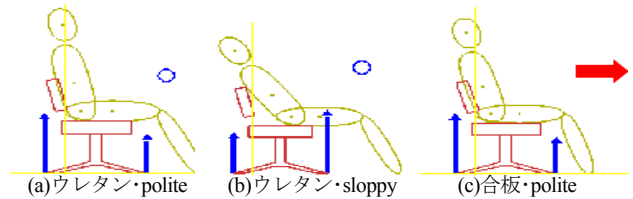


図6 力学的安定性評価結果

示している。図6(c)の場合には、素材が合板であり、摩擦係数が小さいために、同図に示された背もたれの角度では、体が前方に滑り出し安定な着座ができないことも示されている。この機能により、バーチャルヒューマンモデルの体型、着座姿勢、座面の素材、背もたれの角度を変化し、安定性を評価できることが確認された。

図7(a)は、図6に示した椅子モデルに対して、50パーセントの男性のバーチャルヒューマンモデルをウレタン素材座面に着座させた場合の座面の圧力分布解析結果を示している。圧力が 100 g/cm^2 ごとに緑から黄、黄から赤、赤から白と変化して描画されている。仙骨の部分の圧力が高くなってい

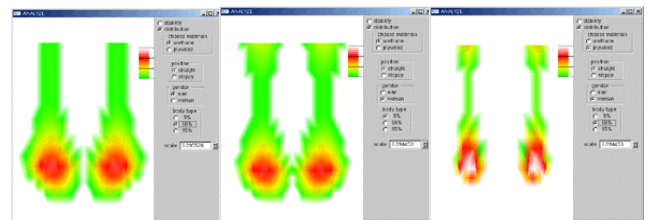


図7 圧力分布シミュレーション結果

るが、全体的には圧力勾配も緩やかで、比較的座り心地はよいと判断できる。同図(b)は、バーチャルヒューマンモデルを5パーセントの女性モデルとした結果を示しており、体格(脚長)に対して椅子が大きく、つま先が床につかないため、膝裏に圧力がかかっていることが分かる。同図(c)は、座面素材を合板に変えた結果である。仙骨の部分に 300 g/cm^2 以上の高い圧力がかかっており、座り心地はよくないことが分かる。

6. 結言

本研究は、以下のとおりまとめられる。

- (1) 椅子の形状設計を支援し、力学的安定性、および座り心地を評価できる椅子のデザイン支援・評価システムを開発した。
- (2) 開発したシステムは、3次元モデル構築システムと評価システムにより構成されている。
- (3) 3次元モデル構築システムは、手描きスケッチをデジタルデータとして獲得し、ディスプレイ上で椅子のフィーチャを配置することにより、簡単な操作で3次元デジタルモデルの構築が可能である。
- (4) 評価システムは、形状の評価機能と機能の評価機能をもっている。
- (5) 形状の評価機能は、多視点から形状を評価し、フィーチャパラメータの変更により、簡単な操作で形状の修正が可能である。
- (6) 機能の評価機能は、デジタルヒューマンモデルを用いることにより、椅子の力学的安定性を評価するとともに、尻滑り力と座面の圧力分布解析により、座り心地の評価を行うことができる。
- (7) 基礎的な実験により、開発したシステムの有効性を確認した。

参考文献

- (1) Martin G. Helander: Field studies of comfort and discomfort in sitting, Ergonomics, vol.40, no.9, 1997, 895-915