

3D プリンタを用いた微細形状の付加による質感表現モデル構築とその評価に関する研究

山田 早姫 指導教員：村上 和人

1 はじめに

医療分野において、3次元情報の提示および感覚表現の必要性は高いと考えられる。3Dプリンタを用いた3次元情報の提示および感覚表現として、質感を再現した臓器モデルの生成技術の開発が取り組まれている[1]。医療における質感表現技術は様々な場面で活用され、質感表現可能なモデル構築は重要な課題であるといえる。しかしながら、現在取り組まれている質感表現可能なモデルの造形には、利用する3Dプリンタの造形方法および造形素材へ依存するという問題点がある。例えば、やわらかい質感の表現には、湿り気や弾性のある素材を利用する。このため、これらの素材の取り扱いが可能な3Dプリンタの利用が前提となる。そこで、誰もが造形可能な質感表現モデルを構築するために、3Dプリンタの造形方法と造形素材に対する依存性の少ない質感表現モデルの構築が望まれる。

本研究では、目標を2つ設定する。第1は3Dプリンタの造形方法および造形素材に対する依存性の少ない質感表現モデルの構築である。この目標に対し、触知対象の表面に微細形状を付加することによる質感表現手法を提案する。第2は質感表現モデルの評価方法を提案である。質感表現モデルの有効性の確認は、構築した質感表現モデルを用いた触知覚評価実験により行う。

2 質感表現手法

質感とは、人が触知対象に触れた際に、触知対象の持つ特徴が人の触覚に与える感じである。本研究における質感表現は、質感を外面的、感性的にとらえられるように、立体造形により、感覚伝達を可能にすることとする。

本研究における質感表現は、触知対象の表面に対し微細形状を付加した、質感表現モデルにより実現する。触知対象を基本形状とし、この基本形状の表面に、隙間および重複なく微細形状を付加する。付加する微細形状に変化を与えることにより、人が触知によって質感表現モデルから知覚する質感に変化を与える。本研究では、この質感を直接的質感と間接的質感の2つとした。

直接的質感とは、人が質感表現モデルに直接接触することにより質感表現モデルから知覚する質感を意味する。直接的質感を表現する質感表現モデルを直接モデルとする。

間接的質感とは、人が質感表現モデルに間接接触することにより質感表現モデルから知覚する質感を意味する。間接的質感を表現する質感表現モデルを、間接モデルとする。間接モデルは、直接モデルとは異なる素材に直接モデルを埋め込み生成する。この間接的質感は、皮膚越しの触知対象の質感を想定している。

3 質感表現モデルの構築

本研究において構築を目指す質感表現モデルは、直接モデルと間接モデルである。

直接モデルとは、触知対象である基本形状の表面に微細形状を付加し、生成した質感表現モデルである。基本形状の表面に、隙間および重複なく微細形状を付加した3Dモデルを作製した。この3Dモデルを、3Dプリンタを用い

て立体造形し、直接モデルを構築した。付加する微細形状に変化を与えることにより、人が触知によって、質感表現モデルから知覚する直接的質感に変化を与えた。本研究では、2種類の直接モデルを構築した。1つは基本形状を直立方体とし、基本形状の上面全体に微細形状を付加した直接モデルである。もう1つは基本形状を立方体とし、基本形状の全面に微細形状を付加した直接モデルである。

基本形状が直立方体の直接モデルでは、微細形状は円錐台とした。円錐台は、円錐の上部1/3を切り取った形状とした。基本形状の上面全体に、隙間および重複なく微細形状を付加した。微細形状の底面半径は r_d 、高さは h_{mr} とした。基本形状が立方体の直接モデルでは、微細形状は円柱、円錐台、半球、三角柱、三角錐台、四角柱、四角錐台とした。錐台は、錐の上部1/3を切り取った形状とした。微細形状の高さは h_{mc} に統一した。

間接モデルとは、触知対象である基本形状の表面に微細形状を付加した直接モデルを、直接モデルと異なる素材に埋め込み生成した質感表現モデルである。構築した直接モデルを、同様に立体造形した型枠内に固定し、ゲル素材を流し込み固め、間接モデルを構築した。埋め込む直接モデルの微細形状に変化を与えることにより、人が触知によってゲル越しの直接モデルから知覚する間接的質感に変化を与える。基本形状を球体、微細形状を円錐台として、直立方体の型枠を用いて間接モデルを構築した。基本形状の全面に可能な限り隙間および重複なく微細形状を付加した。円錐台は、円錐の上部1/3を切り取った形状とした。微細形状の底面半径は r_i 、高さは h_{mi} とした。直接モデルの型枠内における固定位置は、直接モデルの端点と型枠壁面までのそれぞれの距離を I_s 、直接モデルの端点と型枠底面および上面までのそれぞれの距離を I_a とした。このため、型枠の縦横幅は $2 \times r_i + 2 \times I_s$ 、奥行きは $2 \times r_i + 2 \times I_a$ となった。質感表現モデルの一例を図1に示す。

4 質感表現モデルの評価実験

前章で構築した質感表現モデルの有効性を確認するため、3種類の質感表現モデルごとに触知覚評価実験を行った。直接モデルでは、質感の代表例である粗さ感覚と硬さ感覚の程度評価実験を行った。間接モデルでは、内包する直接モデルに付加した微細形状の認識評価実験を行った。基本形状が直立方体の直接モデルでは、一対比較法を用いて粗さ感覚の程度を評価した。基本形状が立方体の直接モデルでは、連続確信度法を用いて硬さ感覚の程度を評価した。間接モデルでは、Receiver Operating Characteristic (ROC) 解析を用いて内包する直接モデル表面の微細形状の識別評価を実施した。3つの評価実験手順を図2, 3, 4に示す。

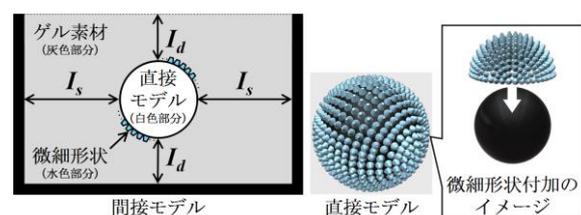


図1. 質感表現モデルの一例

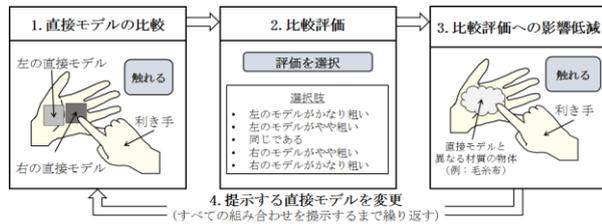


図 2. 粗さの程度評価実験手順

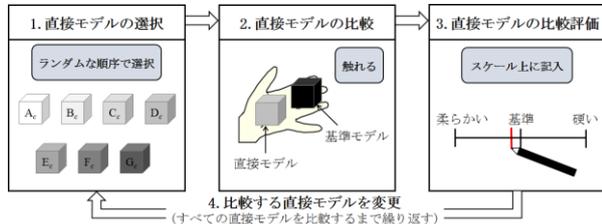


図 3. 硬さの程度評価実験手順

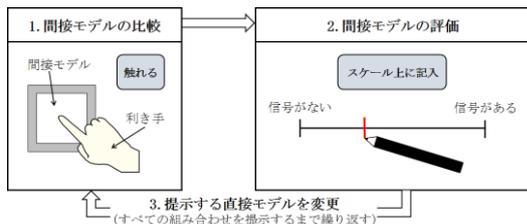


図 4. 微細形状識別評価実験手順

粗さの程度評価実験では、微細形状の大きさに変化を与えて構築した 3 つの直接モデルを用いた。用いた直接モデルの基本形状は縦横 30.00 mm、奥行 5.00 mm の直方体とした。この上面に付加する微細形状の r_d は 0.34, 0.21, および 0.13 mm とした。このときの h_{mr} はそれぞれ 0.49, 0.30, および 0.19 mm となった。 h_{mr} の高い順に A_r , B_r , C_r とした。図 2 に示した実験手順により、20 代の男女 12 名に粗さの程度評価実験を実施した。実験結果から、3 つの直接モデルを心理尺度であるヤードスティック上に配置した。ヤードスティック上の座標値ごとに Tukey 検定を行った結果、すべての座標値間に 0.05 水準で有意差が認められた。このとき A_r-B_r 間の距離は 0.61, B_r-C_r 間の距離は 0.49 であった。スチューデント化された値はそれぞれ 0.32, 0.25 であった。

硬さの程度評価実験では、微細形状の形状に変化を与えて構築した 7 つの直接モデルを用いた。用いた直接モデルの基本形状は縦横奥行 30.00 mm の立方体とした。この全面に付加する微細形状の h_{mc} は 1.00 mm とした。付加した微細形状が円柱の直接モデルを A_c 、円錐台の直接モデルを B_c 、半球の直接モデルを C_c 、三角柱の直接モデルを D_c 、三角錐台の直接モデルを E_c 、四角柱の直接モデルを F_c 、四角錐台の直接モデルを G_c とした。図 3 に示した実験手順により、20 代の男女 7 名に硬さの程度評価実験を実施した。実験結果から、7 つの直接モデルを心理尺度であるヤードスティック上に配置した。ヤードスティック上の座標値ごとに t 検定を行った結果、全 21 組中、10 組の座標値間に 0.05 水準で有意差が認められた。このときの自由度は 12, t 境界値は 1.78 であった。有意差が認められた直接モデルの組み合わせと t 値は、 A_c-B_c 間に 2.02, A_c-E_c 間に 2.57, A_c-G_c 間に 2.21, B_c-C_c 間に 2.66, B_c-F_c 間に 2.12, C_c-D_c 間に 1.91, C_c-E_c 間に 3.34, C_c-G_c 間に 3.18, E_c-F_c 間に 2.73, および F_c-G_c 間に 2.42 であった。

微細形状識別評価実験では、内包する直接モデルの埋

め込み深さに変化を与えて構築した 4 つの間接モデルを用いた。 I_d はそれぞれ 10.00, 7.50, 5.00, および 2.50 mm とした。 I_s は 20.00 mm とした。内包する直接モデルの基本形状は半径 7.40 mm の球体とした。この表面に付加する微細形状の r_i は 0.75 mm とし、 h_{mi} は 1.00 mm となった。

I_d の大きい順に A_{iw} , B_{iw} , C_{iw} , D_{iw} とした。図 4 に示した実験手順により、20 代の男女 13 名に微細形状識別評価実験を実施し、 I_d ごとに ROC 解析を行った。ROC 解析の結果、 I_d ごとの A_z 値は、 I_d が大きい順にそれぞれ 0.290, 0.800, 0.675 および 0.831 となった。 A_z 値は、ROC 解析の結果から得られる ROC 曲線の曲線下面積であり、ROC 解析において、評価値として用いられる。 A_z 値ごとに t 検定を行った結果、3 組の A_z 値間に 0.05 水準で有意差が認められた。

このときの自由度は 24, t 境界値は 1.71 であった。有意差が認められた間接モデルの組み合わせと t 値は、 $A_{iw}-B_{iw}$ 間に 1.96, $A_{iw}-C_{iw}$ 間に 1.75, $A_{iw}-D_{iw}$ 間に 2.30 であった。

5 考察

基本形状が直方体の直接モデルに対し、評価実験を行った結果、粗さ感覚は、基本形状に付加する微細形状の大きさによる表現が可能な感覚であることが示唆された。このことから、人が知覚する粗さ感覚は、触知対象の奥行き方向の情報に依存すると考えられる。基本形状が立方体の直接モデルに対し、評価実験を行った結果、硬さ感覚は、基本形状に付加する微細形状の形状の違いによる表現が可能な感覚であると示唆された。また、類似した形状は似た硬さ感覚を与えることが実験結果より明らかとなった。これらの知見から、人が知覚する硬さ感覚は、触知対象との接触面積および接触面の形状に依存すると考えられる。

間接モデルに対する評価実験を行った結果、直接モデルの埋め込み深さ I_d が 10.00 mm 以上の間接モデルでは、埋め込み深さに対して、微細形状が人の触知覚に与える刺激は弱いと考えられる。そこで、 I_d が 10.00 mm 以上の間接モデルを構築する場合、内包する直接モデルの微細形状を強調する必要性が示された。また、 I_d が 7.50 mm 以下の場合においても、 I_d の違いによって異なる質感表現を行う場合には、微細形状の強調表現が必要であると考えられる。

6 おわりに

本研究では、3D プリンタを用いた立体造形物における質感表現の実現を目標に、質感表現モデルの構築およびその有効性を確認した。質感表現モデルとして、直接モデルと間接モデルを構築した。人の触知覚を用いた評価実験の結果、直接モデルは粗さ感覚および硬さ感覚を表現可能な質感表現モデルであることを明らかにした。同様に、評価実験の結果から、間接モデル内部の微細形状の有無は人の触知覚により判別可能であることを明らかにした。

本研究で提案した質感表現手法は、触知対象の表面へ微細形状を付加し、構築した質感表現モデルにより、質感表現を試みる手法である。したがって、本研究の質感表現手法により、3D プリンタの造形方法および造形素材に対する依存性の少ない質感表現実現の可能性を示唆した。

参考文献

- [1] 杉本真樹, “医用画像情報の可触化による生体質感造形 Bio-Texture Modeling と BIOTEXTURE Wet Model の開発”, 人工臓器, vol.44, no.1, pp.53-56, 2015.