

〈一般研究課題〉 安心した生活実現のための視触覚融合型
インフォームド・コンセントシステムの開発
助成研究者 愛知県立大学 神谷 直希



安心した生活実現のための視触覚融合型 インフォームド・コンセントシステムの開発 神谷 直希 (愛知県立大学)

Development of informed consent system with visual and tactile sense for realizing a safe life Naoki Kamiya (Aichi Prefectural University)

Abstract :

In this research, we proposed a development method of informed consent system with visual and tactile sense for realizing a safe life. We proposed a method for constructing a model for informed consent considering texture expressions, as well as shape reproduction unique to the human body using 3D printer. Here, we developed 3D printing technology capable of expressing various textures under the condition of same material of the same printer and peripheral technology of indirect palpation modeling using Asker C 0 hardness urethane gel. In addition, we proposed robot hand technology and tubular structure model with high affinity as an application example. Subcutaneously, there are various organs and tissues such as fat weaves, muscles and tendons. Therefore, it is necessary to develop molding technology for more various organizations and forms by using basic technology of this proposed method for actual application. For that purpose, we plan to continue the state measurement and evaluation experiment by various modalities of modeled objects and inclusion contained inside in collaboration with photographer who is already working.

1. はじめに

人の一生と医療機関の関係は切り離せない。これは、健康な人も例外でなく、かかりつけ医から歯科などをはじめとする定期検診など多岐にわたる。しかしながら、医歯薬学、看護学などの専門

性は高く、患者への説明には工夫が必要である [1]。1991年には、根拠に基づく医療として、EBM (Evidence-based medicine:EBM)という言葉が提唱され、今日の臨床では当然のようにEBMが実施されている。しかしながら、医療現場に用いられる機器の発展も他分野と同じく情報化が進んでおり、新しい情報機器が導入されている。本研究の対象とする機器である3Dプリンタも例外ではなく、3Dプリンタを用いて作成された医療用3D造形物による手術支援には保険適用がされることとなった[2]。このように、医療現場における新たな情報機器の導入は、既存のEBMだけでなく、患者側の要因であるヘルスリテラシーや患者と医療者相互の関係であるヘルス・コミュニケーションを巻き込んだshared decision-making(共有決定)へと発展する[3]。中山らは患者と医療者にとって「何を共有し、何を目指すか」をもとに、「患者と医療者の間で客観的なエビデンスを診療ガイドラインで共有した上で、双方の固有の情報を伝え合うコミュニケーションに基づく“shared decision-making”の必要性が高まる」としている[3]。この十分な共有決定の実現は、患者にとって、医師の言葉を十分に理解することができず、“お医者様”の指示通り、となってしまうリスクを下げ、より良いインフォームド・コンセントの実現に不可欠と考える。同時に、このような状況は患者だけでなく医師にとっても安心した医療とはいえないと考える。

本研究では、インフォームド・コンセントのうち、3Dプリンタを用いた新しいインフォームド・コンセントを考える。前述のとおり、3Dプリンタは急速に普及の進む機器の一つであり、民生向けの比較的安価な製品も出てきており、医学分野においても手術支援において3Dプリンタによる造形物の利用の検討が進められている [4]。他にも、小中高生向けの講座として、「3Dプリンターで臓器モデルを作ろう！」の企画では、医用画像処理、医用画像可視化技術を組み合わせた3Dプリンタの教育的利用も試みられている [5]。我々は、患者やその家族、医師を含めた安心した生活を実現するため、画像処理技術と3Dプリンティング技術を融合した、新しいインフォームド・コンセント(IC)システムの開発を目的とする。比較的安価に入手可能となった3Dプリンタを用い、インフォームド・コンセントに用いられる3D造形物に対し、視覚だけでなく触覚を考慮したモデリング、造形および生成技術を開発する。これにより、患者自身やその家族と医師が積極的に関わりあい、人生の質の向上を実現することが目的である。

既に、3Dプリンタにより造形された医療用造形物について、模型を用いたインフォームド・コンセントの拡張として、患者固有の臓器形状の再現や手術支援、手術シミュレーションが行われている [6]。我々は、これまでに3Dプリンタ造形物による質感表現の研究を行った[7]。そこでは、同一機種 of 同一素材を用いた造形物で異なる粗さ感覚を与えることを確認した。よって、本研究では、人体固有の形状再現にとどまらず、質感表現を考慮したインフォームド・コンセント用モデルの構築を目的とする。ここでは、同一プリンタの同一素材という条件下で多様な質感の表現が可能な3Dプリンティングおよび周辺技術を開発し、視触覚を融合させたインフォームド・コンセント用造形物生成技術として提案する。

2. 方法

本研究成果の概要図を図1に示す。既に我々が提案した、微細形状の付加による質感表現 [7]に基づき、本研究では、立体形状における質感表現(本研究に関する業績1)、皮下構造物のインフォームド・コンセント用質感表現(同2)、皮下構造物質感表現モデルの埋め込み手法(同3)、皮下

構造物再現用モデルの深さによる影響の検証(同5)および疑似乳房モデルによる乳管の疑似表現手法の提案(同6)が主である。さらに、並行して、インフォームド・コンセント用ロボットハンドの検討(同4)も実現した。以下では、それぞれについて時系列で成果の概要を述べる。

前述のとおり、我々はこれまでに、3Dプリンタによる造形物に対し、微細形状を付加することで、同一プリンタ、同一素材という条件下で異なる質感の表現可能性を示した [7]。インフォームド・コンセントでは、患者に提示する造形物は、患者固有の臓器・組織模型と想定されるため、

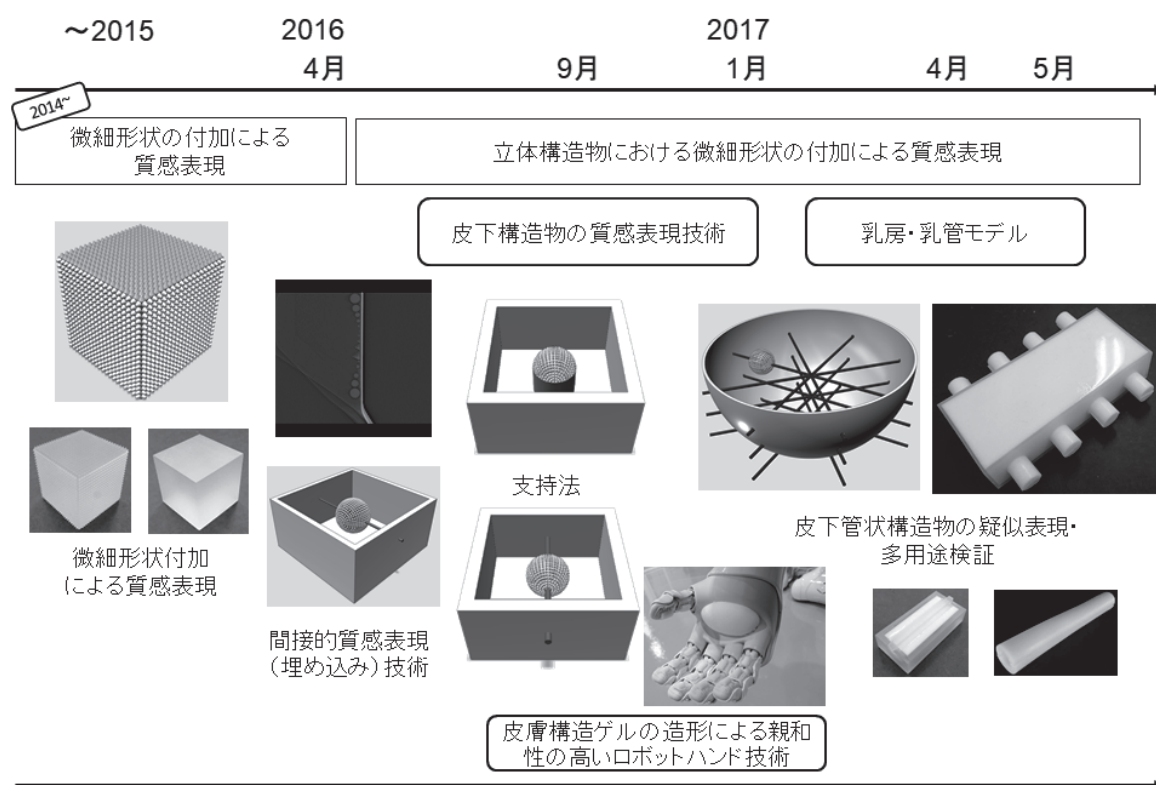


図1. 本研究成果の概要図

3次元形状を用いた検討が必要である。そこで、本研究では、立方体の全面に対し、7つの微細形状を均一に付加し、立体形状による硬さ感覚の変化を検討した。付加する微細形状には、半球、四角柱、円柱、三角柱、四角錐台、円錐台、三角錐台を用いた。図2に立体形状を用いた微細形状を付加したモデルと造形物を示す。右端が何も付加していない立方体造形物である。

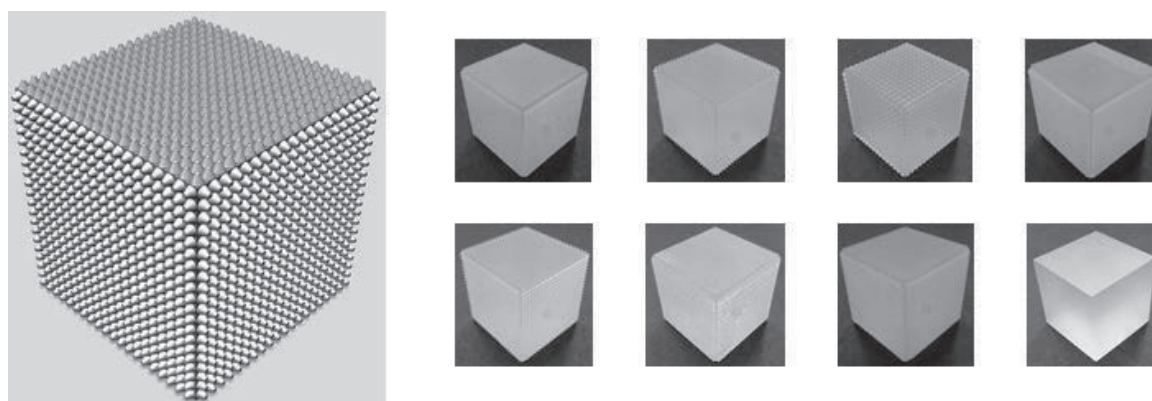


図2. 立体形状に対する微細形状の付加と硬さ感覚に対する影響の検証に用いたモデルと造形物

これまでの実験では、微細形状を付加した造形物を直接触ることを目的としていた。これは、現状の人体模型に対し、患者固有の模型を作成でき、提示することが可能になるという反面、実際の臓器・組織とは明らかに質感が異なるという点が課題であった。そのため、次の取り組みとして、微細形状を付加したモデルをゲル内に埋め込むことにより、間接的に造形物に触れ、皮下構造様の質感表現技術に取り組んだ。ここでは、医療用にも使用可能な人肌の感覚を模したアスカーC0硬度のウレタンゲルを用い、球体構造に微細形状を付加したモデルを内部に留置することで、皮下構造様の質感表現を行った。これまでの実験と異なり、内部に埋める構造となるため、以降の実験では、CT撮影により、造形物が正しく造形・留置されているかについての検証も行った。図3に実験に使用したモデル構造と3D表示およびCT撮影による内部試料の検証の様子を示す。

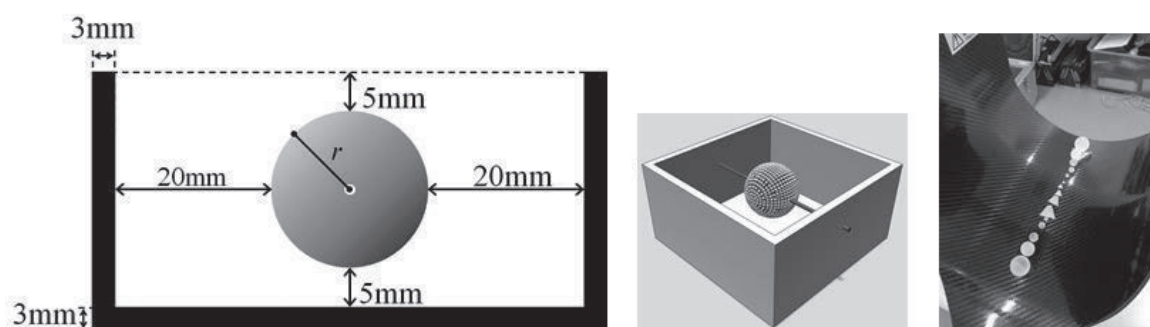


図3. 皮下構造様の質感表現の検証に用いたモデル構造(左)とCT撮影による内部の検証(右)

同時期には、皮下構造における腫瘍様の疑似試料の生成と、それらの留置方法の違いによる触知覚に対する影響の検討を行い、より複雑な人体構造に対応可能な造形物のモデリング技術について取り組んだ。図4に球体を用いた腫瘍様の疑似試料と疑似試料の留置方法の違いによるモデル構造を示す。

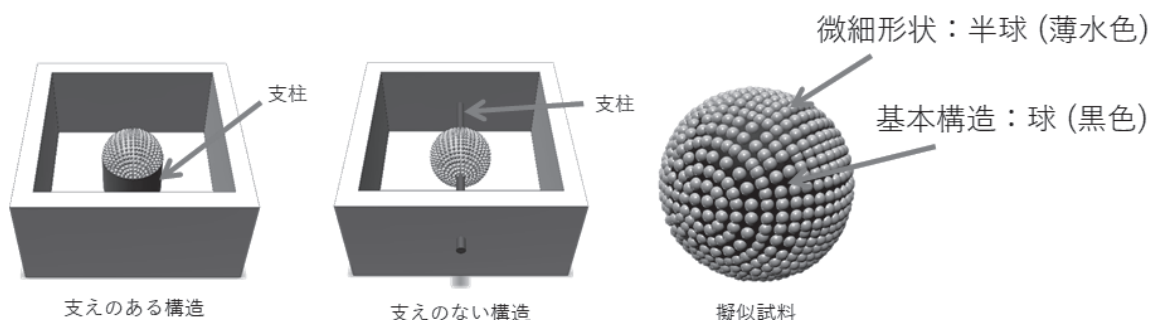


図4. 腫瘍様疑似試料の留置方法の違いによる2つのモデル(左)と疑似試料の構成(右)

ここまでは、人体構造のモデリング、造形、生成技術に取り組んでいた。そして、得られた皮膚感覚は、今後、導入が進むであろう医療・介護用ロボットにおいても重要な基礎技術と成りうると考え、ゲルを用いた任意形状の皮膚構造造形・生成技術を提案し、汎用ロボットに対する付加により、親和性の高いロボットハンドの実現可能性について検討した。図5にゲルを用いた皮膚構造の造形例とロボットハンドによる実験の様子を示す。

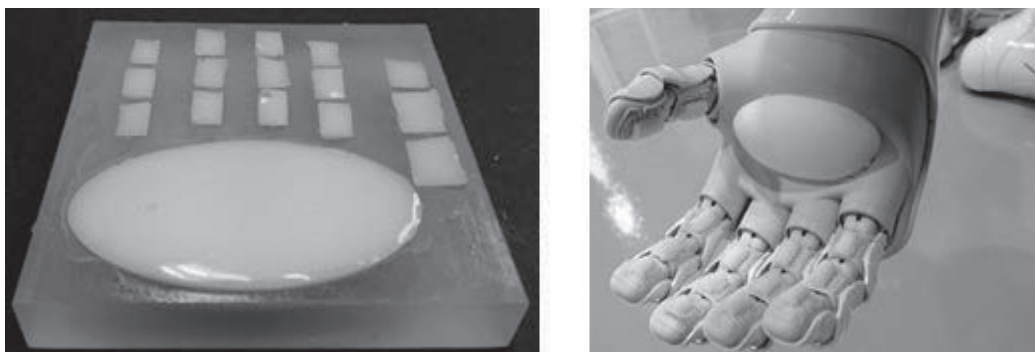


図5. ゲルを用いた任意形状の皮膚構造造形・生成技術(左)とロボットハンドへの応用(右)

次に、より複雑な自由度の高い皮下構造表現を可能にするために、ゲル表層からの距離による模擬試料の触知感覚に対する影響の検討を行った。これは、インフォームド・コンセントにおいて、触知可能な情報提示の再現可能な疑似構造の深さ、すなわち距離情報として重要な情報と考える。図6に深さの違いによる疑似試料の触知実験に使用した構造を示す。図6上部に示すように、表層からの距離を10.0mm、7.5mm、5.0mmおよび2.5mmの4種類のモデルを用意し、視覚による影響を排除するため、図6下に示すようなサポートボックスで覆い、深さの影響について検証実験を行った。

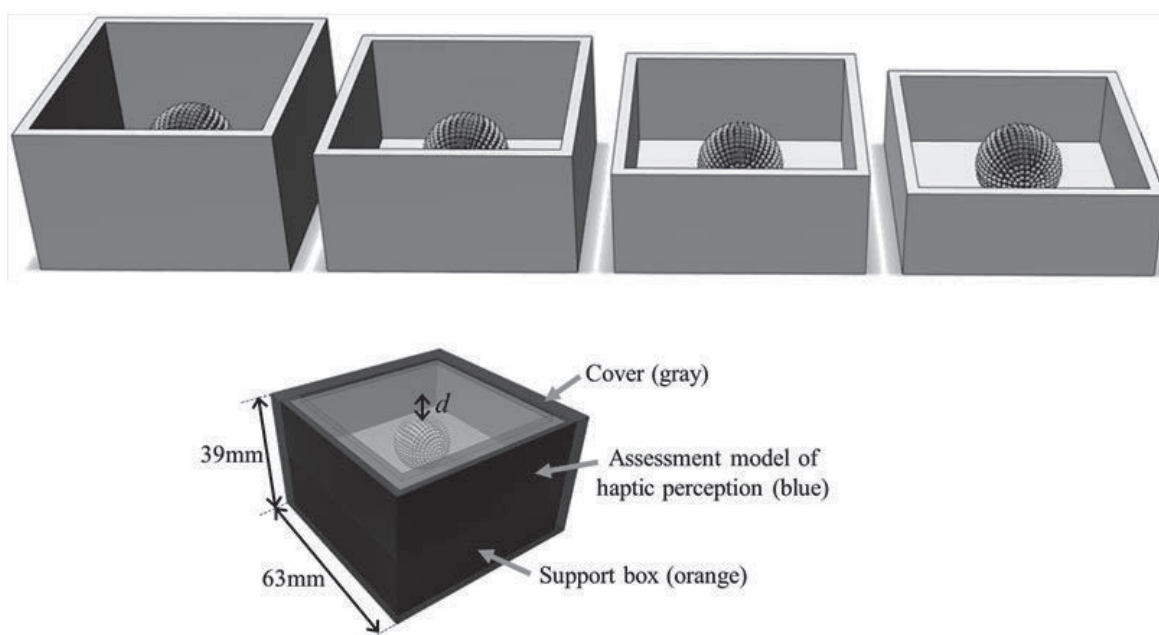


図6. 微細形状を付加した模擬試料の埋め込みと深さの影響の検証に用いたモデル構造

最後に、より具体的な応用例の検証として、日常からの自己触診が推奨されている乳房を対象とし、疑似乳房モデルの生成を試みた。これは、腫瘤様の疑似試料を内部に留置し、外部から触知できるか患者自身がトレーニングできるモデルである。加えて、乳房の検査では技師のトレーニングも必要とされるため、疑似乳管を生成し、任意の管内流体が内包可能な疑似乳管モデルを提案した。これは、様々なモダリティで撮影可能であり、内部流体を変更することにより、様々な撮影トレーニング、読影トレーニングができる新しい試みである。図7に腫瘤様の疑似モデルを配置した

疑似乳房モデルと乳管モデルを示す。

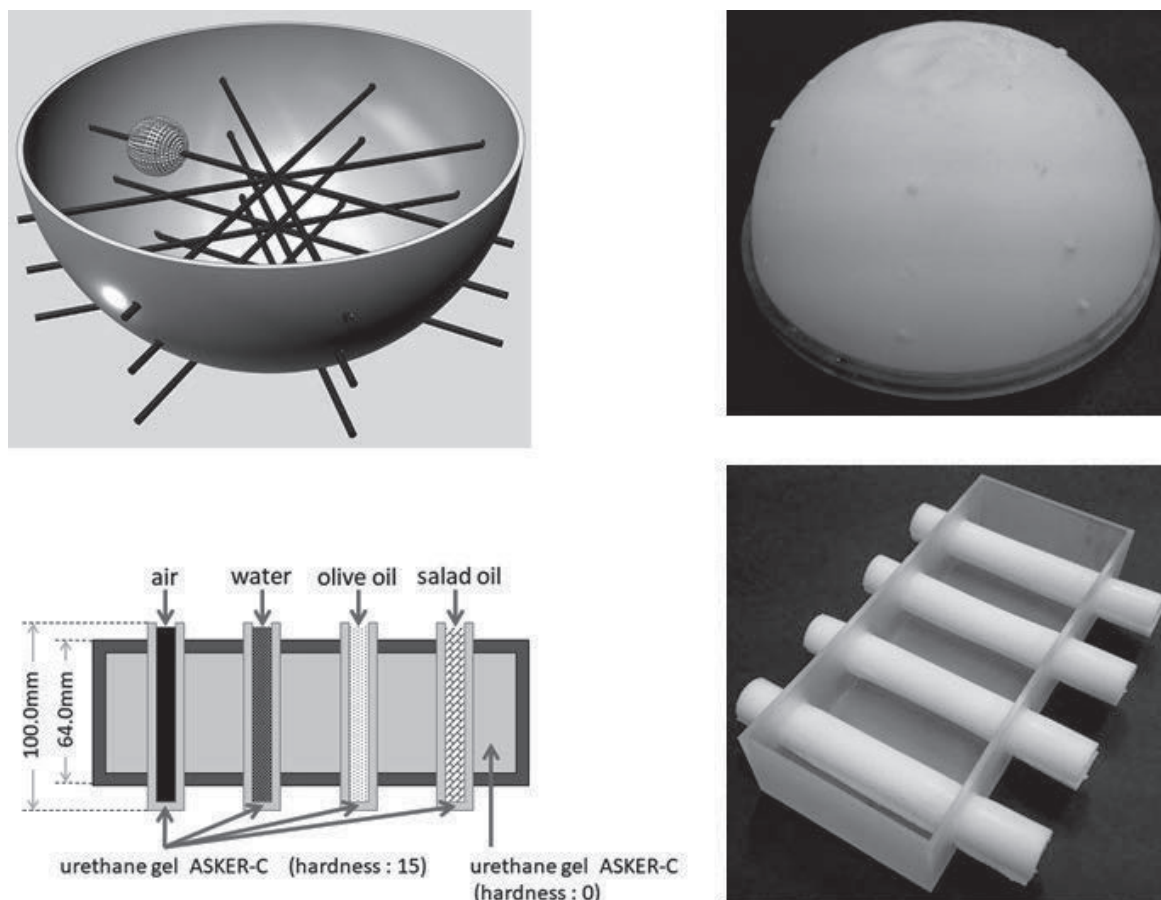


図7. 腫瘍様の疑似モデルを配置した疑似乳房モデル(上)と乳管モデル(下)

3. 実験結果と考察

図1および前章で示したそれぞれ内容について、結果の概要を以下に示す。まず、図2で示した立体形状における付加する微細形状の特徴は、何も付加しない立方体と比較し、硬さ感覚に影響を与えることが分かった(本研究に関する業績1)。これは、三角錐台が最も硬さを感じさせ、半球が最も柔らかく感じさせられる結果となった。次に、図3、4に示した微細形状を付加した物体の留置方法の違いが、内包する触知対象の表面に付加された微細形状の有無の判断に与える影響をROC解析により検証した結果、支えのある構造はAz値が0.766、支えがない場合はAz値が0.688となり、統計的な有意差はなく、腫瘍様の疑似試料を内包させる場合に、表面から内部の様子を触知により探る場合には、どちらの方法でも良い結果となった(同2および3)。これは、インフォームド・コンセントにおいて、人体の表層から深部を触るように説明する場合には有効であるが、手術シミュレーションなど、全方向から触知することが考えられる場合には、検討の余地がある。

次に、図6に示した自由度の高い皮下構造表現を可能にするためにゲル表層からの距離による模擬試料の触知感覚に対する影響の検討における実験結果を図8に示す。図8より、本研究で提案したモデルは、表層からの距離が2.5mm～7.5mmまでの皮下構造に対し、模擬試料の知覚が良好に可能なモデルと言えるが、10.0mmより深い皮下構造に対するインフォームド・コンセントには十分な表現力を持たないと言える(同5)。これも、表層からの接触により触知可能かという実験条件の

ため、全方位から触知可能であることを示す一般的な結果ではないため、今後の検討課題の一つと言える。

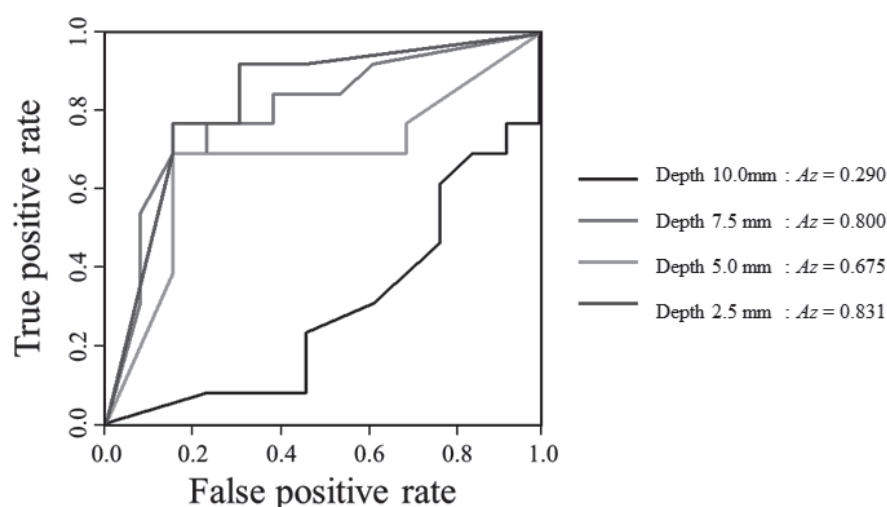


図8. 微細形状を付加した模擬試料の埋め込み深さと触知実験のROCカーブ

最後に、具体的な応用例の検証として、日常からの自己触診が推奨されている乳房を対象とし、疑似乳房モデルのうち、疑似乳管に空気、水、オリーブオイル、サラダ油の4種の異なる素材を内包させ、CT通常撮影により、内部構造がどのように描出されるか示した結果を図9に示す。同時に、CT画像上の管中央を水平方向にプロファイル計測した結果も示す。プロファイル上の赤色が実際の管境界である。内包物による信号の減衰がプロファイル上から確認できるため、本構造は技師用の撮影・読影トレーニングにも使用可能と考えられる(同6)。しかしながら、本研究は初期結果にすぎず、内包物や様々なモダリティにおいて検討する必要がある。実際、超音波装置で撮影することを想定する場合、上記とは異なる素材を用いる必要があることは明らかである。

4. まとめと今後の展望

本研究では、安心した生活実現のための視触覚融合型インフォームド・コンセントシステムとして、3Dプリンタを用いた人体固有の形状再現にとどまらない、質感表現を考慮したインフォームド・コンセント用モデルの構築法を提案した。ここでは、同一プリンタの同一素材という条件下で多様な質感の表現が可能な3DプリンティングおよびアスカーC0硬度のウレタンゲル内留置による間接的触知モデリングの周辺技術を開発し、視触覚を融合させたインフォームド・コンセント用造形物の生成が実現された。また、応用例として親和性の高いロボットハンド技術や管状構造モデルなどを提案したが、皮下には脂肪組織や筋、腱など様々な臓器・組織が存在するため、実応用に向け、本提案手法の基礎技術を用い、より多様な組織・形態に対するモデリング・造形技術の開発を行う。そのためには、現在取り組んでいる撮影技師と連携した造形物や管内内包物の様々なモダリティによる状態計測評価実験を進める計画である。

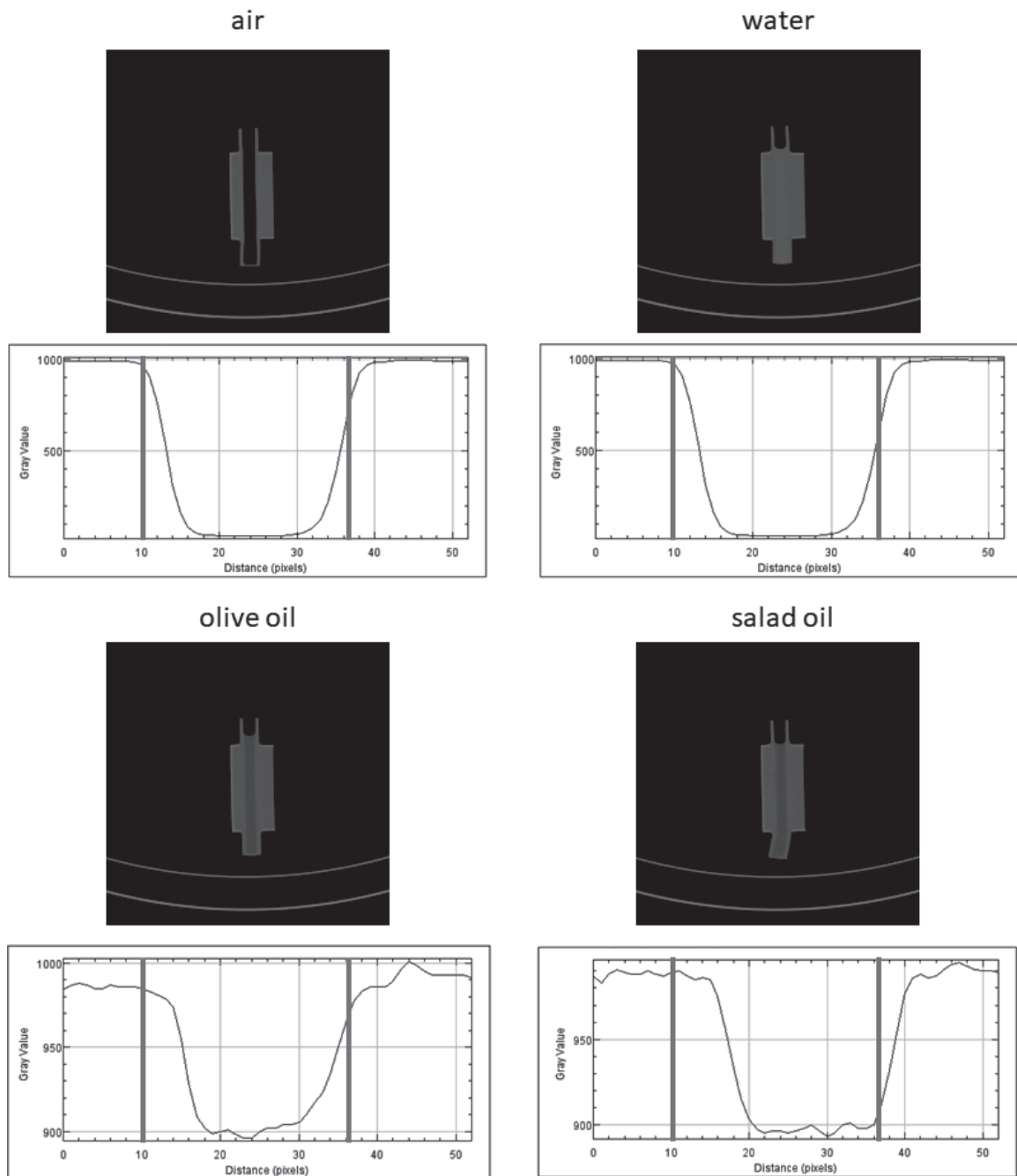


図9. 4種の素材を内包する乳管モデルのCT通常撮影と管中央部におけるプロファイルカーブ

謝辞

本研究を遂行するにあたり，村上和人教授(愛知県立大学)，山田早姫氏(愛知県立大学大学院情報科学研究科博士後期課程)に多大な協力をいただいた．ここに記して謝意を表する．

参考文献

- [1] Kaye, Peter. "Breaking bad news. Northampton, UK: EPL Publications (1995).
- [2] 厚生労働省，“先進医療の中医協報告”，中央社会保険医療協議会 総会(第323回)議事次第 総-2-4, pp.1-11, Jan.2016.
- [3] 中山健夫，“EBM の普及と医療リテラシー: 情報と医師患者コミュニケーション”，日本内科学

会雑誌, vol.101, No.12, pp.3600-3606, 2012.

- [4] 杉本真樹, 東 健, “3D 画像ナビゲーションと臓器立体モデルによる手術支援・シミュレーション”, 臨床外科, vol.67, no.8, pp.1022-1030, 2012.
- [5] 森健策, 小田昌宏, 林雄一郎, 二村幸孝, “小中高生向け講座「3D プリンターで臓器モデルを作ろう!」開催報告”, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.113, no.410, pp.175-180, 2014.
- [6] S.A.Z.B.S.Aluwee, H.Ito, X.Zhou, H.Kato, H.Makino, T.Hara, M.Matsuo and H.Fujita, “Patient-specific model generation by using 3D printing and its application to surgical planning of uterine fibroid removal”, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.116, no.160, MI2016-35, pp.1-4, 2016.
- [7] S. Yamada, N. Kamiya and K. Murakami, “Experimental Discussion for Variation of Tactile Sensitivity based on 3-Dimensional Shape Features and Their Visual Information”, Proceedings of International Workshop on Advanced Image Technology 2016, P1.C-9, pp.1-4, 2016.

本研究に関する業績

- 1. 山田早姫, 神谷直希, 村上和人, “医療用3Dモデルのための立体形状特徴による質感の表現”, 第35回日本医用画像工学会大会予稿集, PP-41, pp.1-3, Jul. 2016.
- 2. S. Yamada, N. Kamiya, S. Yamada, N. Shinohara and K. Murakami, “Preliminary Study on Embedded Object Generation for Medical Education Using a 3D-printer and its Evaluation Method”, Proceedings of Tokai-Section Joint Conference on Electrical, Electronics, Information, and Related Engineering 2016, D5-3, p.1, Sep. 2016.
- 3. 山田早姫, 神谷直希, 村上和人, “3Dプリンタを用いた触知覚評価のための擬似試料埋め込み手法の検討”, 映像情報メディア学会技術報告, vol.40, No.31, pp.13-16, Sep. 2016.
- 4. 山田早姫, 石田敦也, 日高憲太, 神谷直希, 村上和人, “人との親和性を高めたロボットハンドデザインのための触覚表現手法の提案”, 第14回情報学ワークショップ, Nov. 2016. 【ベストポスターアワード受賞】
- 5. S. Yamada, N. Kamiya and K. Murakami, “Depth Effect of 3D Embedded Stimulus on Haptic Perception for Indirect Texture”, Proceedings of International Workshop on Advanced Image Technology 2017, P5.A-11, pp.1-4, Jan. 2017.
- 6. 山田早姫, 神谷直希, 村上和人, “3Dプリンタを用いた多目的疑似乳房モデルの構築に関する検討”, 日本放射線技術学会第73回総会学術大会予稿集, p.243, Mar. 2017. 【CyPos Silver Award受賞】
- 7. 神谷直希, “専門講座:「3次元画像処理」”, 画像通信, vol.40, no.1, p.53, Mar. 2017.