

3D スキャンを可能とするゲルの表面修飾法の検証

Validation of surface modification methods for gels to enable 3D scanning

鈴木 康海¹, 川上 勝², 渡邊 洋輔², 小川 純², エムディナヒン イスラム ジブリ²,
アジット コースラ², 古川 英光²

Koumi SUZUKI¹, Masaru KAWAKAMI², Yosuke WATANABE², Jun OGAWA², MD Nahin Islam SHIBLEE²,
Ajit KHOSLA², Hidemitsu FURUKAWA²

¹山形大学工学部

²山形大学大学院理工学研究科

¹Faculty of Engineering Yamagata University

²Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

【要約】

透明性の高いハイドロゲルを 3D プリンターで複雑な形状に造形できる技術は発展しているが、造形したハイドロゲルの寸法を計測するための手段は確立されていない。一般的な構造物の測定方法はノギスや金尺等の道具を直接あてがう方法や非接触の光学式 3D スキャナによる測定が用いられる。しかし、柔らかく透明度が高いハイドロゲルを対象とした場合、これらの方法をそのまま実行したとしても、その結果は測定の正確さにおいて必ずしも適しているとはいえない。そのため本研究は後者の光学式 3D スキャナでゲルの 3D 形状をデータ化する方法を検証する。ここではゲル表面の修飾法に着目し、着色剤添加およびコーティング剤塗布を行うことで 3D スキャンがどの程度可能となるのかについて定量的に評価する。

キーワード: 3D スキャナ, 精度評価, 修飾法

【Abstract】

The technology to form highly transparent hydrogels into complex shapes using 3D printers has been developed, but the means to measure the dimensions of the formed hydrogels have not been established. In general, structures are measured by directly applying tools such as calipers or metal measures, or by using a non-contact optical 3D scanner. However, these methods are not always suitable for hydrogels, which are soft and transparent, in terms of measurement accuracy. Therefore, in this study, the latter method of converting the 3D shape of the gel into data using an optical 3D scanner is verified. In this paper, we focus on the modification method of the gel surface and quantitatively evaluate how much 3D scanning is possible by adding coloring agents and coating agents.

Keywords: 3D scanner, accuracy evaluation, modifier

1. 序論

ゲルとは高分子鎖が架橋されて 3 次元構造の網目を造り、それが水などの溶媒を含んだ物質である。そのため、柔らかく湿っている材料であり、柔軟性や高含水率、高い透明性、生体適合性、低摩擦などの特性を備えている。その特性を活かして、医療やロボット工学といった多岐にわたる分野での利用が期待されていたが、注型による成型が一般的で、複雑な構造体の造形が難しかった。近年、複雑な形状を造形可能な 3D ゲルプリンターが開発されており、医療分野では人工血管、眼内レンズ、臓器モデルのような医療器具の作製にゲルが使用され始めている[1]。

一方で、造形したゲルの寸法を定量的に評価するための方法が確立されていない、という問題がある。例えば、ノギスや金尺等の道具を直接あてがう方法は柔らかく変形しやすいハイドロゲルに適用することが困難である。

そのため本研究では、非接触で 3D 形状を計測でき

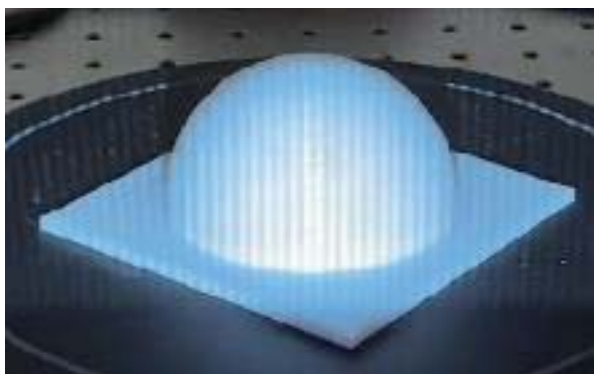
る光学式 3D スキャナに注目した。光学式 3D スキャナの場合、ガラスやハイドロゲルのような透明な物体は反射光が少ないことでパターン投影がうまくいかず計測が難しい[2]。そこで、3D スキャンによる形状計測が可能になるような、ゲルの表面修飾方法について検討を行った。

2. 使用機器

本研究において光学式 3D スキャナは図 1 に示す SHINING 3D 社の Ein Scan-SE を使用する。Ein Scan-SE は白色光 LED を光源としているデスクトップ 3D スキャナである。プロジェクターが縦縞模様のパターンを投影し、そのパターンをカメラが読み取り解析して対象物との距離を測定することが可能である[3]。しかし、スキャン対象物が金属、半透明、金属光沢、黒色の素材、溝の隙間が非常に狭いまたは深いなどといった場合、距離の測定ができないことがある。そのため、光透過性の高いゲルをスキャンするためには表面を修飾する必要がある。スキャン対象物の大きさはターンテー



(a) 光学式 3D スキャナ「Ein Scan-SE」



(b) ゲルスキャン時の様子

図 1. 3D スキャン装置の外観と実行中の様子

ブルに乗せられる程度に限定されており、最小スキャンサイズは 30mm×30mm×30mm、最大スキャンサイズは 200mm×200mm×200mm となっている。

3. ゲルの作製および表面修飾法

3.1 ゲルの作製

本稿では型造形が可能な N,N-Dimethylacrylamide (DMAAm)ゲルを検証に用いた。DMAAm ゲルの溶液はモノマーとして DMAAm、架橋剤として N,N'-Methylenebisacrylamide (MBAA)、開始剤としてペルオキソ二硫酸アンモニウム(過硫酸アンモニウム)(APS)を混合させ、溶媒として精製水を混合することで作製した。ゲルを作製する際には、促進剤として N, N, N', N'-テトラメチルエチレンジアミン (TEMED)を加え、重合を開始させた。ゲルの形状はスキャンの方向依存性を軽減するために半径 35mm の半球を選択して、シリコンの半球型にゲル溶液を入れて硬化させることで造形した。実際に作製したゲルを図 2(a)に示す。

3.2 着色剤添加による表面修飾法

ゲルのスキャン精度と色による相関を検証するために、図 2(b)に示す着色剤を添加したゲルを検証に用いた。本稿では着色剤に「ピカエース(ディープレッド)」という顔料を用いた。顔料は直接ゲル溶液に溶かすことができないため、非イオン界面活性剤のノイゲンに溶解し、ゲル溶液と混合させた。含有量として、ノイゲン1wt%、顔料 0.2wt%とした。



(a)半球型の DMAAm ゲル

(b)着色剤を添加



(c) コーティング剤を塗布

図 2. 表面修飾法を施したゲル造形物の外観

3.3 コーティング剤

本研究ではゲルの表面修飾法の 1 つとして、コーティング剤を検討する。実際にコーティング剤を塗布したゲルを図 2(c)に示す。

今回、コーティング剤は 3D スキャン用昇華型スプレーである「AESUB blue」(株式会社システムクリエイト)を使用した。「AESUB blue」は一般的な現象液スプレーと異なり白色粉末を含まずにスキャン対象物をスキャン可能な状態にすることができる。また、「AESUB blue」が作り出す白色の膜は時間経過により昇華するアダマンタンという成分だけで構成されているため、スキャン後に粉末を除去する必要がない。

3.4 ゲルの評価方法

ゲルの評価方法として、理論的な半球の 3D データとスキャンで取得した 3D データを比較し、交差と差分を求める。図 3 に示すように、交差とは、2つの物体を中心を合わせた時に重なる部分、差分は重ならない部分を指す。交差、差分それぞれを半球の体積の理論値に対する百分率で表し、一致率、差分率とした。

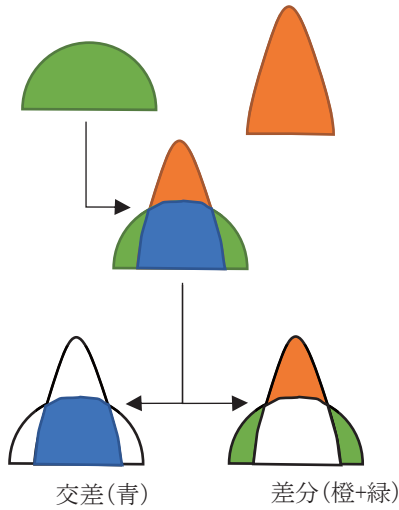


図 3. 交差と差分を求める図解

4. 結果と考察

4.1 スキャンの検証

各ゲルのスキャン後に得られた形状データを図 4 に示す。表面修飾を施していないゲルは図 4(a)に示すように、形状データが取得できなかった。一方、図 4(b), (c)が示すように、表面にコーティング剤を塗布したゲル及び着色剤を添加したゲルは形状データの取得に成功した。

4.2 スキャン評価

次に 3D スキャンによる有効性を定量的に評価した、評価する項目として、体積を検討した。Ein Scan-SE でスキャン後、スキャンソフト内でメッシュ穴埋めを行い、3D データをSTLデータで保存した。その後、3D プリントソフトウェア Materialise Magics (materialise 社製)を用いて、3D データの体積を取得した。今回は、3DCAD で作製した半径 35mm の理想的な半球とスキャンによって得られたゲルの形状データに加えて、ポリ乳酸(PLA)

表 1. 各データの体積

	体積[mm ³]
半球の体積の理論値	89658
ゲル製半球 (コーティング剤塗布)	90833
ゲル製半球 (着色剤添加)	83612
PLA製半球	107978
ABS製半球	101754

表 2. スキャン精度評価

	交差 [mm ³]	一致率 [%]	差分 [mm ³]	差分率 [%]
ゲル製半球 (コーティング剤塗布)	86215	96.01	6962	7.753
ゲル製半球 (着色剤添加)	82265	91.76	7665	8.550
PLA製半球	89592	99.92	11426	12.37
ABS製半球	89657	99.99	17650	19.16

樹脂及びアクリル・ブタジエン・スチレンの共重合合成 (ABS) 樹脂のスキャン結果を比較した。各半球の形状データから取得した体積のデータを表 1 に示す。

今回は、理論的な体積を持つデータとスキャンで取得したデータを比較し、2 つのデータの交差と差分を求め、スキャン精度を評価した。表 2 にスキャン精度評価結果を示す。

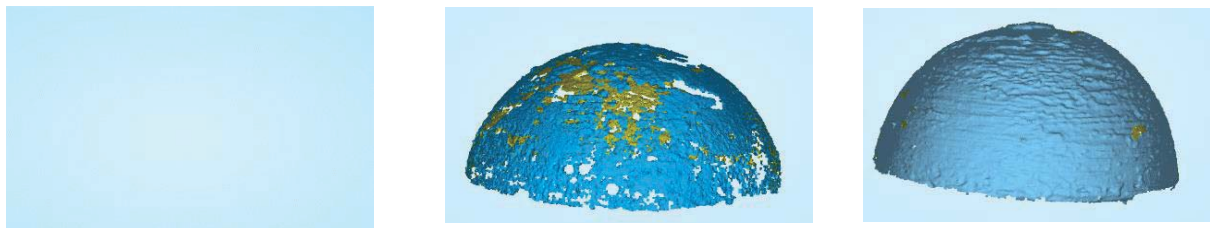


図 4. スキャン結果(未修飾, 着色剤添加, コーティング剤塗布)

表 3. 複数回の積算スキャンをした場合のスキャン精度の比較(理想的な半球のデータとの比較)

スキャン積算回数	体積 [mm ³]	交差 [mm ³]	一致率 [%]	一回前との一致率 [%]	差分 [mm ³]	差分率 [%]
1回目	90833	86215	96.01	—	6962	7.753
2回目	90827	86165	95.96	99.94	7071	7.874
3回目	90800	86124	95.91	99.95	7126	7.936
4回目	90298	86049	95.83	99.91	6773	7.543
5回目	90146	86005	95.78	99.95	6706	7.468
6回目	90146	85998	95.77	99.99	6718	7.481

図 4 に示すように、着色剤を添加したゲルは 1 回のスキャンでは一部しかデータを得られなかったため、5 回程度スキャンを行い十分にスキャンが確認できるデータを使用した。表 2 より PLA と ABS では一致率が高いことがわかった。しかし、差分率が 10% 以上と正確性に欠けた結果が見られた。これは、PLA と ABS 製半球をスキャンしたデータが大きめにスキャン結果として取得されたため、差分率が高く算出されたのではないかと推測される。また、一致率や差分率においてコーティング剤や着色剤といった修飾法を施したゲルとの比較では一致率が 90% 以上、差分率が 10% 未満と高い精度が見られた。この時、コーティング剤を塗布した場合に一致率が高く差分率が低いのは、着色剤よりコーティング剤のほうが表面の形状がより明確に表れるためだといえる。そのため、コーティング剤を用いた修飾法のほうが有効的であるとわかった。

次に同じ対象物をスキャンする回数によって精度が変化するか検証した。コーティング剤塗布したゲルを 1~6 回のスキャンを行い、各スキャン回数におけるスキャン精度を求めた。その結果を表 3 に示す。スキャン回数において、6 回までスキャンしたデータを取得したが交差率や差分率はすぐに収束し、各データにおいてスキャン結果や体積などにおいて大きな差異が見られなかった。そのため、はっきりスキャンできる対象物に対して複数回の積算スキャンする必要はなく、2 回程度のスキャンで十分な精度を示すことがわかった。しかし、1 回のスキャンで一部しかスキャンできない対象物である場合、復元が可能になるまで複数回の積算スキャンを行う必要がある。

5. 結論

図 4 の結果よりコーティング剤と着色剤による修飾法の有効性が確認された。また、表 2 より理想的な半球のデータとの交差の一致率が高く、差分率が低いコーティング剤を用いた修飾法のほうが有効的であると分かった。これは、着色剤よりコーティング剤のほうが表面の形状がより明確に表れるためであると考えられる。

精度評価においては、コーティング剤や顔料といった修飾法を施したゲルとの比較では一致率が 90% 以上、差分率が 10% 未満と高い精度を示したが、PLA と ABS のスキャンデータとの比較では一致率は 90% 以上であるが、差分率が 10% 以上であるため、より高い精度を示す手段を検討する必要がある。また、体積のみの評価でなく、評価の精度を高めるために寸法などの他の項目についての評価を検討する。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP17H01224, JP18H05471, JP19H01122, JP21H04936, JP21K14040, JST COI JPMJCE1314, JST OPERA JPMJOP1844, JST OPERA JPMJOP1614, ムーンショット農林水産研究開発事業 (MS508, JPJ009237), 内閣府が進める「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第 2 期 / フィジカル空間デジタルデータ処理基盤」, 「官民による若手研究者発掘支援事業」(管理法人: NEDO) によって支援を受けたものである。

参考文献

- [1] 岡田耕治, 牧野 真人, KabirMd. Hasnat, 宮 瑾, 古川 英光, “3D ゲル プリンター SWIM-ER の開発とゲル人工血管の研究”, 日本機械学会 2014 年度年次大会講演論文集, No. 14-1, J0440301 (2014).
- [2] Behzad Valinasab, Maxym Rukosuyev, Jason Lee, Junghyuk Ko, Martin B.G Jun “Improvement of Optical 3D Scanner Performance Using Atomization-Based Spray Coating”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers/Volume 24 Issue 1/p.23-30 (2015)
- [3] 佐藤甲癸, 5-4 3D スキャナ (3D 入力装置), 画像電子学会誌/ 44 巻 2 号 (2015) p. 282-284