

# 低コストな3D ゲルプリンターで造形したゲルの物性評価

## Physical Properties of Gels Formed by a Low-Cost 3D Gel Printer

横江 一真<sup>1</sup>, 渡邊 洋輔<sup>2</sup>, エムディナヒン イスラム シブリ<sup>2</sup>, アジット コースラ<sup>2</sup>,  
小川 純<sup>2</sup>, 川上 勝<sup>2</sup>, 古川 英光<sup>2</sup>

Kazuma YOKOE<sup>1</sup>, Yosuke WATANABE<sup>2</sup>, MD Nahin Islam SHIBLEE<sup>2</sup>, Ajit KHOSLA<sup>2</sup>,  
Jun OGAWA<sup>2</sup>, Masaru KAWAKAMI<sup>2</sup>, Hidemitsu FURUKAWA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>山形大学工学部

<sup>2</sup>山形大学大学院理工学研究科

<sup>1</sup> Faculty of Engineering, Yamagata University

<sup>2</sup> Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

### 【要約】

我々は3D ゲルプリンターの社会実装を進めるべく、我々が独自に開発した低コストな3D ゲルプリンター”RepRap SWIM-ER”を企業の方々に貸し出し、ユーザーとして実際に利用してもらおうゲルアンバサダープロジェクトを進めている。しかし、これまでどのような硬さのゲルを造形できるのか、明確にされていなかった。そのため貸し出しを行う前に、RepRap SWIM-ER でどのような硬さのゲルが作れるのか明確にし、ユーザーに知らせていく必要がある。今回は積算光量を変えたICNゲルの圧縮試験を行った。結果、積算光量を増やすことによって、ヤング率、最大応力ともに増加することが分かった。

キーワード:3D ゲルプリンター, RepRap, ICN ゲル, 積算光量

### 【Abstract】

We are now working on the Gel Ambassador Project to promote the social implementation of 3D gel printer by lending the low-cost 3D gel printer “RepRap SWIM-ER” to companies and letting them use it. Therefore, it is necessary to clarify what kind of hardness the gel can be made with the RepRap SWIM-ER before lending it to companies. In this study, the compression test of the ICN gel was conducted. As a result, it was found that both Young's modulus and maximum stress increased with increasing the accumulated light intensity.

Keywords:3D gel printer, RepRap, ICN gels, accumulated light

### 1. 序論

ゲルは高含水率、低摩擦、生体適合性の特性を持ち、医療への応用や工業材料としての利用が期待されている。しかし、ゲルは柔らかい物性のため、従来の切削や注型による加工は困難であった。

複雑な形状のゲルの造形を可能にするため、古川研究室では3D ゲルプリンター“SWIM-ER”が開発された[1]。SWIM-ER はバスタブ式の光造形3D プリンターで、バスタブ内のゲル溶液にUVレーザーを照射し、照射された部分をゲル化させるという造形方法である。これにより、ゲルは高い精度での3D 造形が可能になった。しかし、この装置は大変高価であり、全ての研究機関や企業が所有できるわけではない。

この問題を解決するために、“RepRap”という概念を用いた。RepRapとは“Replicating Rapid Prototyper”の略称で自己複製が可能な高速試作機を意味している。この概念を用いて、部品は低価格かつインターネット上でも購入できるものを使用し、SWIM-ERの造形方法を再現した3D ゲルプリンター”RepRap SWIM-ER”を開発した[2]。図1に装置の外観と造形中の画像を示す。

さらに、現在古川研究室では、3D ゲルプリンターを社会実装していく、ゲルアンバサダープロジェクトが進められている。ゲルアンバサダープロジェクトとは、RepRap SWIM-ERを企業の方々に貸し出しを行い、実際に使ってもらおうことで、3D ゲルプリンターの新たな活用先の発見を目的とするプロジェクトである。そのためRepRap SWIM-ERでどのような硬さのゲルが再現できるのか、明確にしていく必要がある。今回は、このRepRap SWIM-ERで造形したゲルの物性を測定した。

(a)

(b)

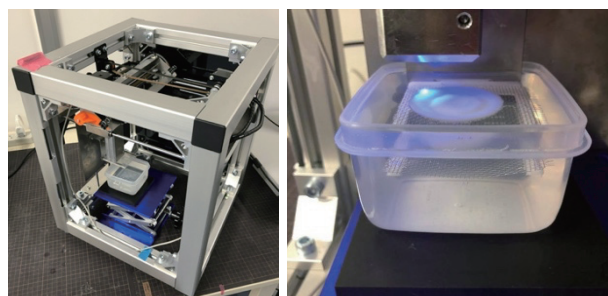


図1.(a)RepRap SWIM-ER と(b)造形中の画像

## 2. 実験

### 2.1 材料

ゲル材料としては, Inter-Crosslinking Network structure Gels (ICN ゲル)を使用した.モノマーとして N,N-Dimethyl acrylamide(DMAAm), ポリマーとして Hydroxypropyl Cellulose(HPC), 架橋材として MOI-EG(Karenz), 光重合開始剤として Diphenyl(2,4,6-trimethylbenzoyl)phosphine Oxide(TPO), 吸収剤として Kayaphor(AS150)を用いてゲル溶液を作製した.表1に組成を示す.

表1.ICN ゲルの組成

モノマー	ポリマー	架橋材	開始材	吸収材
DMAAm	HPC	Karenz	TPO	AS150
4[mol/L]	0.02[mol/L]	0.02[mol/L]	0.01[mol/L]	0.2[wt%]

### 2.2 造形と圧縮試験

3D ゲルプリンターRepRap SWIM-ERを用いて, 作製したゲル溶液での造形をした.今回は, 直径 10mm, 高さ 8mm の円柱を造形した.

3D ゲルプリンターで造形されたゲルの物性値は, 積算光量に依存する.積算光量  $W$ は式(1)で表すことができる.

$$W = \frac{I \times n}{v \times D} \quad (1)$$

$I$ はゲル造形時のレーザーの光量,  $n$ は走査回数,  $v$ は光源の走査速度,  $D$ はレーザーのスポット径を表す.今回の造形では, レーザーの光量 10[mW], 光源の走査速度 20[mm/sec], スポット径 1.0[mm]を固定し, 走査回数を1, 3, 5回と変化させゲルの造形をした.造形後, 造形物を純水で 24 時間膨潤させ, 物性を測定した.物性の測定にはオリエンテック製卓上型材料試験機 STA-1150 を使って, 速度 3mm/min で圧縮試験を行った.

## 3. 結果と考察

造形直後のゲルの写真を図2に示す.走査回数が1回のゲルは比較的透明であるが, 走査回数が増えるたびに白くなっているのが分かる.また, 走査回数が1回の時よりも5回の方が, 円柱の直径が一回り大きくなっているのが見て取れる.実際に円柱の直径を測定してみると走査回数が1回目の時は 10.1mm, 3回の際は 11.2mm, 5回目の時は 12.3mm となった.これは, 照射したレーザーの光が散乱し, ゲル化する部分が広がったことが予想される.

ひずみが 0.1 までのヤング率を表2に, 走査回数を変化させたときの応力-ひずみ線図を図3に示す.表2と図3より, 走査回数を増やすことにより, ゲルの最大応力, ヤング率が共に増加していることがわかる.これは積算光量が多いと, 光重合反応が進み, 架橋密度が高くなったためと考えられる.

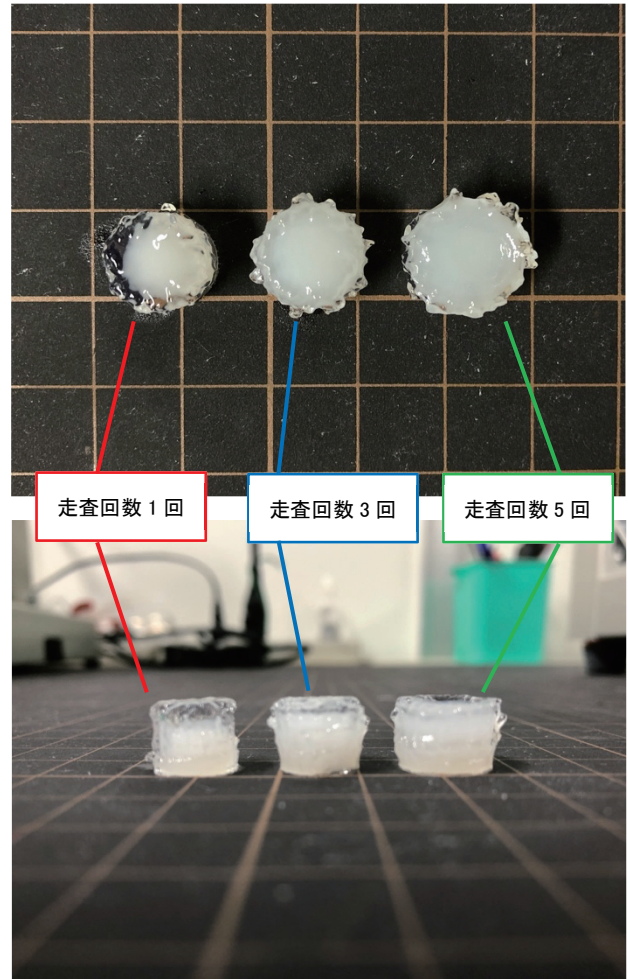


図2.造形後の円柱ゲル

表2.走査回数を変化させた時のヤング率

走査回数	1	3	5
ヤング率[kPa]	4.65	6.83	12.3

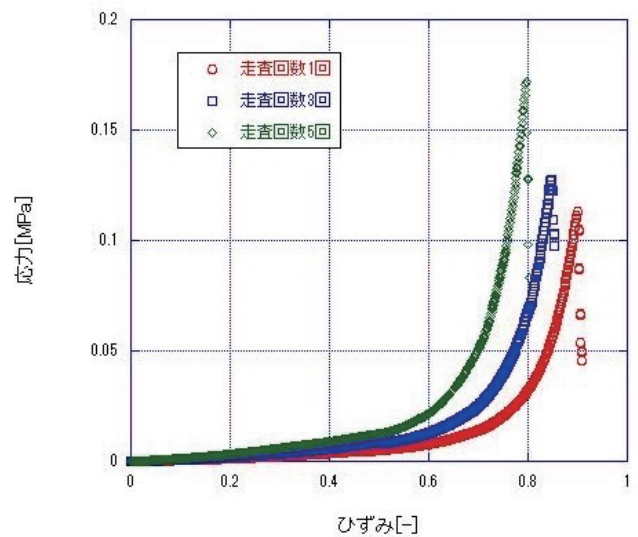


図3.走査回数を変化させたときの応力-ひずみ線図

#### 4. 結言

RepRap SWIM-ER のレーザー走査回数を増やすことによって、ゲルのヤング率が上がる事が確認できた。今後は、任意の硬さを造形できるように様々なゲルを RepRap SWIM-ER で造形したい。さらに、造形データと造形物の間に寸法の誤差があったため、ゲルアンバサダープロジェクトで得たユーザーの使用感を参考にしながら、装置の改良を進めていく。

#### 5. 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP17H01224, JP18H05471, JP19H01122, JST COI JPMJCE1314, JST OPERA JPMJOP1844, JST OPERA JPMJOP1614, 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」(管理法人: NEDO) によって支援を受けたものである。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

1. Muroi, H., Hidema, R., Gong, J., Furukawa, H., JSME, Vol. 7, No. 2, Special Issue 2012 pp. 163-168 (2013)
2. Azusa Saito, Kei Sato, Samiul Basher, Masaru Kawakami and Hidemitsu Furukawa “RapRap SWIM-ER: low cost open-source 3D gel printer” Proc. SPIE 10597 (2018)

