

RepRap SWIM-ER を用いたゲル食品サンプル

Soft food samples printed with Gel 3D printer “RepRap SWIM-ER”

亀岡 将成¹, 渡邊 洋輔², エムディ ナヒン イスラム シブリ², アジット コースラ²,
小川 純², 川上 勝², 古川 英光², 王 忠奎³, 平井 慎一⁴
Masanari KAMEOKA¹, Yosuke WATANABE², MD Nahin Islam SHIBLEE², Ajit KHOSLA²,
Jun OGAWA², Masaru KAWAKAMI², Hidemitsu FURUKAWA², Zhongkui WANG³, Shinichi HIRAI⁴

¹山形大学工学部

²山形大学大学院理工学研究科

³立命館大学総合科学技術研究機構

⁴立命館大学ロボティクス学科

¹ Faculty of Engineering, Yamagata University

² Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

³ Research Organization of Science and Technology, Ritsumeikan University

⁴ Department of Robotics, Ritsumeikan University

【要約】

本研究では、3D ゲルプリンタを用いて、食品を把持する産業用ロボットの開発に有用な、やわらかい食品サンプルの造形手法を開発する。3D ゲルプリンタは我々の研究室で開発された、紫外光で硬化するゲルモノマー溶液の液面を紫外線レーザーで照射、走査して固化する方式のものである。異なる2種類の組成をもつゲルを用いて、食品サンプルの造形を試した。造形速度や紫外線吸収剤の量を調整することで、食品サンプルの精細な造形に成功した。またそれぞれのゲル造形物の含水率測定、圧縮試験を行い、各組成のゲルの物性を調べた。

キーワード: 食品サンプル, 3D ゲルプリンタ

【Abstract】

In this study, we develop a method to form a soft food sample using a gel 3D printer, which is useful for the development of an industrial robot to hold food. The 3D gel printer, developed in our laboratory, uses an ultraviolet laser to irradiate and scan the surface of a gel monomer solution, which is hardened by ultraviolet light. Gels with two different compositions were used to shape food samples. By adjusting the molding speed and the amount of the UV absorber, we succeeded in producing fine food samples. In addition, the physical properties of the gels were investigated by measuring the moisture content of each gel and conducting a compression test.

Keywords: Food samples, 3D gel printer

1. はじめに

近年、日本をはじめとする先進国において、労働人口の減少に伴い、代替労働力としてのロボットの開発が進んでいる。その中で、食品産業用ロボットは、ときに野菜や海産物のように柔らかく、硬さの分布を持つものを扱うため、それらを把持する能力が要求されている。[1]しかし食品は形状、物性に大きな不均一性があること、また実験のたびに食品のロスが出ることなどから、把持能力の開発において、本物の食品を対象として扱うことは問題が多い。したがってデザインされた形状、物性を持った柔らかい食品サンプルを、再現性良く製作する技術が求められる。また柔らかく、かつ実際の食品の質感を模倣できる材料のひとつとして、高分子ゲル材料の導入が期待されている。そこで、我々はハイドロゲルの3次元造形によって、食品サンプルの製作を試み、造形物の外観や物性について調査する。

2. RepRap SWIM-ER による造形手法



Fig. 1 Gel 3D Printer “RepRap SWIM-ER”

”RepRap SWIM-ER”とは、”Replicating Rapid prototype”と”Soft and Wet Intelligent Matter Easy Realizer”の略である。RepRapとは、通常プラスチックを

Table 1 Composition of ICN gel

Monomer [Mol/L]	Polymer [Mol/L]	Cross-linker [Mol/L]	Initiator [Mol/L]	Absorber [wt%]
DMAAm	HPC	Karencz	TPO	AS-150
4.0	2.0×10^{-2}	2.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-1}

Table 2 Composition of PDN gel

1st gel			2nd gel			
Monomer [Mol/L]	Cross-linker [Mol/L]	Initiator [Mol/L]	Monomer [Mol/L]	Cross-linker [Mol/L]	Initiator [Mol/L]	Absorber [wt%]
NaAMPS	MBAA	α -keto	DMAAm	MBAA	α -keto	AS-150
1.0	9.0×10^{-2}	1.0×10^{-3}	3.5	1.8×10^{-2}	7.0×10^{-3}	1.0×10^{-1}

材料とするオープンソース型の3Dプリンタの通称であるが、本装置が RepRap 型の3Dプリンタをベースとしているためにこの名称が付けられた。SWIM-ER は古川研究室で開発された3Dゲルプリンタの名称であり、紫外光により化学架橋、硬化するゲルモノマー溶液の液面を、紫外レーザーで照射、走査することで3次元構造を造形する。架橋前のゲルモノマー溶液の組成により、様々な特性のゲルを造形することができる。図1に RepRap SWIM-ER の外観を示す。

本実験では ICN (Inter-Crosslinking Network structure)ゲル, PDN (Particle Double Network)ゲルの二種類のゲルを用いた。この理由として、これらのゲル材料は前述の RepRap SWIM-ER の単純な3Dモデルの造形可能であることが明らかにされているが、物性が異なるため、食品の造形に適した材料であるかを見極める必要があるからである。ICNゲルは、複数の高分子が相互架橋することで3次元の網目を形成している。PDNゲルは、硬くて脆い高分子ゲルの顆粒内に、柔らかいゲルを構成する高分子が入り込んだネットワークを形成している。

表1に ICNゲルの組成を示す。モノマーとして DMAAm (*N,N*-Dimethyl acrylamide), ポリマーとして HPC (Hydroxypropyl Cellulose), 架橋剤として KarenczMOI-EG(2-(2-methacryloyloxyethyl)oxyethylisocyanate), 光重合開始剤として波長 405 nm に吸収を持つ TPO (Diphenyl(2,4,6-trimethyl benzoyl) phosphine Oxide), 印刷精度向上のための吸収剤として AS-150 (Benzenesulfonic acid, 2,2'-(1,2-ethenediyl) bis[5-[4-methoxy-6-(phenylamino)-1,3,5-triazin-2-yl]amino]-, sodium salt (1:2)), 精製水を使用した。

表2に PDNゲルの組成を示す。ゲルのモノマー溶液 NaAMPS (2-Acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid sodium salt solution), 架橋剤として MBAA (*N,N'*-methylene-bisacrylamide), 開始剤に α -keto (α -ketoglutaric Acid) を入れる。柔らかいゲルのモノマー溶液の組成は DMAAm, 架橋剤として MBAA, 開始剤として TPO, 吸収剤 AS150, 精製水を使用した。



Fig. 2 Food formed samples by RepRap SWIM-ER (Prawn, Octopus leg, Jellyfish)

3. 造形物の評価手法

造形物の評価方法として含水率測定と圧縮試験を行った。含水率測定は RepRap SWIM-ER で直径 12mm, 厚さ 3mm の円柱形のゲルを造形し、これを2日間純水に浸して完全に膨潤させたものを使用し、加熱乾燥式水分計を用いて含水率を算出した。

圧縮試験では、含水率測定時と同様の円柱を ICNゲル, PDNゲルでそれぞれ10個ずつ造形し、力学試験機(島津製作所 AGS-X)を用いて、膨潤前、膨潤後のゲル試料の圧縮試験を5回ずつ行った。ヤング率をそれぞれ求めた後、それらの平均値を結果として採用した。

4. 結果及び考察

まず初めにエビ、タコ足、クラゲの3種類の食品模倣ゲルを造形した。それぞれ ICN で作成したものを図2に示す。図2の左図に示すゲルエビモデルは体の曲線を再現することができたが、図2の中央図に示すタコ足は吸盤の表面形状が微細な凹凸をもっていることが3次元造形の難易度を上げており、印刷条件(印刷速度, Zピッチ幅)を調整することで、吸盤をきれいに造形することができた。図2の右図に示すクラゲの造形では、丸みを帯びた曲面部と細い触手部の造形難易度を上げることが明らかとなり、吸収剤の添加量や印刷速度を調整することで造形が可能になった。PDNゲルを用いて同じ形状を造形した場合も、ICNゲルの造形と同様の印刷結果が得られたため、材料による難易度および外観に大きな差が生じることはないことが判明した。

Table 3 Breaking load and Young's modulus

ICN gel			
Sample name	Breaking Stress[MPa]	Breaking Strain[-]	Young's modulus[kPa]
Unswelled gel	-	-	12.86 ± 2.96
Swelled gel	0.28 ± 0.07	0.83 ± 0.08	4.24 ± 1.47
PDN gel			
Sample name	Breaking Stress[MPa]	Breaking Strain[-]	Young's modulus[kPa]
Unswelled gel	0.24 ± 0.05	0.58 ± 0.22	79.29 ± 59.60
Swelled gel	0.16 ± 0.03	0.55 ± 0.23	25.36 ± 13.63

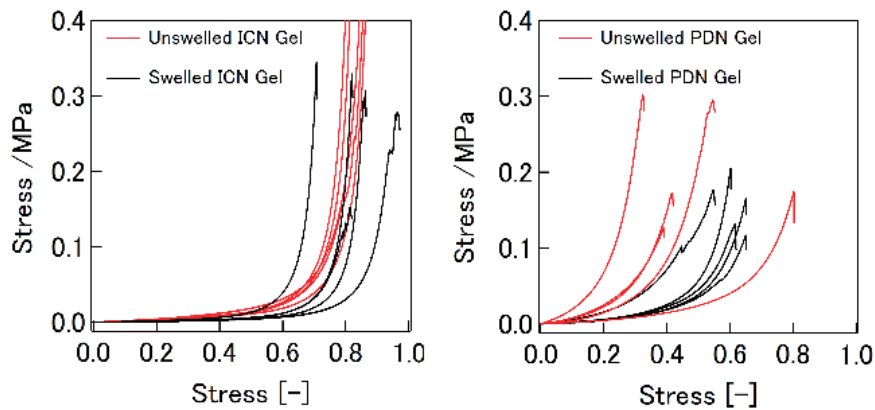


Fig. 3 Compression test results

RepRap SWIM-ER で造形された ICN, PDN ゲルの含水率は、それぞれ 98.8, 92.9%であった。いずれも高い含水率を持ち、ICN ゲルが PDN ゲルよりも含水率が高いことが確認された。図3に RepRap-SWIM-ER で造形した ICN, PDN ゲルの圧縮試験結果を示し、表 3 に圧縮試験から得られた各ゲル試料の破断応力、ヤング率を示す。ICN ゲルは PDN に比べ低いヤング率を示しているが、破断強度が高く、柔らかいゲルであることがわかる。また ICN, PDN ゲルいずれにおいても、膨潤後の方が低いヤング率、破断応力を示した。膨潤前の ICN ゲル造形物は、装置の荷重限界である 1000 N で圧縮しても破断させることができなかった。

5. 結論

食品に似せた形状の造形を 3D ゲルプリンタ”RepRap SWIM-ER”を用いて行った。造形速度や吸収剤の添加量などの印刷条件を調整することで、造形精度の向上が確認され、エビ、タコ、クラゲの造形に成功した。3D プリントした ICN, PDN ゲルの含水率測定と圧縮試験を行い、膨潤後のゲルは柔らかく、90%以上水分を含むことが確認された。また ICN ゲルの方が PDN ゲルより柔らかくて、よく伸びることが分かった。

今後は実際の食品の物性を測定し、含水率やヤング率、破断強度の目安を作成することで、RepRap

SWIM-ER による本物の食品と同じ物性を持った食品ゲルサンプル造形を目指す。

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。

参考文献

- [1]平井 慎一, ”食品ハンドリング用ロボットハンド” (July 3, 2017)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/sicejl/56/10/56_787/_pdf/-char/ja
 (Retrieved on September 17, 2020)

