食品用 3D ゲルプリンタを用いた食の創成

設楽 真理子^{*1}, 宮 瑾^{*2}, 芹澤 凌^{*3}, 牧野 真人^{*2}, 西岡 昭博^{*4}, 古川 英光^{*2}

Food creation with 3D gel printer for foods

Mariko SHITARA^{*1}, Jin GONG^{*2}, Ryo SERIZAWA^{*3}, Masato MAKINO^{*2}, Akihiro NISHIOKA^{*4}
and Hidemitsu FURUKAWA^{*2}^{*1} Department of Systems Innovation, Faculty of Engineering, Yamagata University,
4-3-16 Jonan, Yonezawa-shi, Yamagata, 992-8510, Japan^{*2, *3} Department of Mechanical Systems Engineering, Graduate School of Science and Engineering,
Yamagata University, 4-3-16 Jonan, Yonezawa-shi, Yamagata, 992-8510, Japan^{*4} Department of Polymer Science and Engineering, Graduate School of Science and Engineering,
Yamagata University, 4-3-16 Jonan, Yonezawa-shi, Yamagata, 992-8510, Japan

Received 1 June 2015

Abstract

The market of care food is growing for aging society and the personal version of care food will be needed for improving a fun of meal. On this occasion, 3D printing technologies have been developed and are being applied for food creation. In the present study, we prepare food ink for the world-first 3D gel printer designed by our group. The hardness of food is one of the most important factors that influence the texture of food. So that the jelly foods made by the 3D gel printer is designed being soft and easy to chew. Here four kinds of jelly food samples are prepared by using agar and gelatin as gelation agents. The mechanical strength of the jelly foods is evaluated by a compression test for foods. We measured the hardness (maximum stress) of the jelly foods and succeeded in the preparation of various jelly foods of 8 ~ 45kPa in hardness. The gelation of agar is possibly controlled by temperature change. Thus by using the temperature change, the jelly foods are easily printed by the 3D gel printer. We hope these printed jelly foods will make it possible for elder persons to enjoy their fun of everyday meal and improve the quality of life for the elder persons.

Key words : Gel, Food, 3D printing, Texture, Agar, Gelatin

1. 緒 言

溶媒を多く含むゲルは一般的に自由造形が困難である。そこで、先行研究ではゲルの外観や造形に工夫を凝らすことができる 3D ゲルプリンタ (Muroi, et al., 2013) の開発を進めてきた。最近では米国を発端とする 3D プリンタのブームの到来から食品への展開にも注目が集まっている。当研究室では、高齢化が進む現代において日々の楽しみである食事に焦点を当て、誤嚥を防ぐために個人個人によって柔らかさが異なり見た目も楽しめる介護食を提供するための食品用 3D ゲルプリンタ (Gong, et al., 2013) の開発を進めてきた。本研究では、食品用 3D ゲルプリンタを用いた個人ニーズに対応したオーダーメイド食の創成を目標として、食品用 3D ゲルプリンタでの造形に適用するゼリー食用のフードインク (Food Ink) (Serizawa, et al., 2014) の開発を行った。フードインクにはゲル化を起こす材料として天然食材であるカンテンやゼラチンを添加ゲル化剤として用いた。介護食において重要な制御因子の一つである食品の硬さ(圧縮試験での最大応力)を調整するために、フードインクに添加するカン

No.15-00008 [DOI:10.1299/transjsme.15-00008], J-STAGE Advance Publication date : 18 August, 2015

^{*1} 山形大学工学部システム創成工学科 (〒992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16)^{*2} 正員, 山形大学大学院理工学研究科^{*3} 正員, 山形大学大学院理工学研究科 機械システム工学専攻^{*4} 山形大学大学院理工学研究科 機能高分子工学専攻

E-mail of corresponding author: furukawa@yz.yamagata.u.ac.jp

テンやゼラチンの粘度および 3D 造形における温度条件を検討した．食品用 3D ゲルプリンタによりデジタル造形データからのゼリー食品の個別製造が可能になれば，異なるフードインクから製造したゼリーのデザインによってどのような硬さになったかに関するデータベースをつくることができる．そして，食品用 3D ゲルプリンタを用いることで，それぞれの体調にあった硬さをもつオーダーメイド食の作製が可能となる．将来的にはゼリー食の外観や食感を向上することで高付加価値化を可能にし，高齢者の Quality of Life (QOL) の向上に繋がる．

2. 食品用 3D ゲルプリンタの開発

本研究で使用する食品ゲルプリンタ (図 1) は大別して①シリンジ，②造形面，③ディスペンサ，④パソコン (造形ソフト) の 4 つの機構から成り立っている (MJET-3-CTR, 武蔵エンジニアリング株式会社)．吐出部に温度調整機構 (80℃まで加熱可)，造形面にはヒートシンク (約 5℃の水で冷却) が付属されているため，溶液の温度変化によってゲル化反応を起こす仕組みとなっている．造形は xyz 方向に 170×170×60mm の範囲で可能で，ディスペンサはシリンジ内の溶液を押しこむ圧力や吐出温度を調節することができる．吐出は，吐出部内にある棒で吐出ノズルの後方を叩いて 1 滴ずつ出す仕組みである．装置の独自性は，パソコンで好きな形を造形ソフトで描き，そのデジタルデータをアウトプットすることでゼリー食品の製造が可能であることであり，以下ではこの装置に適したゼリー食品用のフードインクの開発を検討した．

Fig. 1 3D gel printer for food, E-CHEF.

3. ゼリー食品

誤嚥を防ぐために高齢者向けに作られている食事はゼリー食品が中心である．介護の現場においては，要介護者の方の食欲には見た目の影響が大きく，介護の現場においては見た目のおいしさというものが非常に重視されている．見栄えの良い外観をもつ食の創成が重要である．見栄えの良い外観をもつ食の創成には，食品用 3D ゲルプリンタの最大の長所である形づくりの多様性が活用できる．また，ゼリー食の硬さを個人対応するためには，ある程度歯ごたえのある物から舌で容易に潰せる硬さまでの食品の硬さを調整する必要がある．食品用 3D ゲルプリンタでのゲル化の制御し易さから，先行研究ではカンテンをゲル化剤として使用して造形実験を行ってきた (Gong, et al., 2013)．カンテンの増量により造形し易くなるが，カンテンだけを使用したゼリー食品は一般的には硬くなる．

4. 食品用 3D ゲルプリンタに対応したフードインクの開発

チョコや砂糖，パスタ，ピザなどを造形する既存の食品プリンタがある．本研究で使用する食品用 3D ゲルプリンタはゲル化反応を利用して多種のゼリー食を造形する．食品用 3D ゲルプリンタに対応する為に，フードインク

は温度によってゾルーゲル間を可逆的に変化する必要がある。温度制御によりゾルーゲル変化を制御できるカンテンとゼラチンの原材料、主成分、融点、凝固点、ゲル化温度について比較をした。その結果を表1に示す。

また、多種のフードインクを開発するには、食品 3D プリント E-CHEF で造形可能かが重要なポイントとなっている。作製の概要は以下の通りである。

- (1) 食材が固体の場合は粉末化させる。(今回は粉末状に加工された食材を使用した)
- (2) ゲル化剤(カンテン、ゼラチン)を選択する。
- (3) 粉末化した食材に合わせてゲル化剤の種類や濃度を調整して E-CHEF で造形可能な成分を決定する。

将来的には、フードインクを詰め込んだカートリッジを開発する予定である。現在の紙プリンタと似たように、カートリッジはメニューごとに開発する。具体的に、納豆インクから納豆を作り、米粉インクからごはんを作り、合わせると納豆ごはんができる。ピザやハンバーグを作るには、ピザインクとハンバーグインクを使用する。これらのメニュー化したカートリッジを開発して食をつくることを目標としている。

Table 1 Comparison of agar and gelatin.

	Agar	Gelatin
Raw material	Red algae	Bones and skin of animals
Chief component	Carbohydrate	Protein
Melting temperature	Above 80°C	50~60°C
Solidifying temperature	30~40°C	18~20°C
Completion of gelation	Room temperature	Below 10°C

5. 圧縮試験

食品ゲルの硬さを数値評価するために圧縮試験を行った。使用した圧縮試験機は図2のオリエンテック社製の卓上型材料試験機 STA-1150 である。測定した試料を表2に示す。圧縮試験をそれぞれ6回 行い、各応力ひずみ曲線の平均を取りグラフ化したものを図3に示す。

Fig. 2 Compression tester.

Table 2 Agar and gelatin gel samples for compression testing.

Sample No.	Water [ml]	Agar [g]	Gelatin [g]	Content [wt%]
------------	------------	----------	-------------	---------------

1	250	5.0	-	2.0
2		4.0	-	1.6
3		2.5	-	1.0
4		2.5	2.5	1.0+1.0=2.0

Fig. 3 Stress-strain curves of 4 kinds of agar and gelatin gels listed in Table 2.

カンテンとゼラチンを用いて、硬さ 8～45KPa の食品ゲルが得られた。破断応力は硬さや柔らかさ、破断歪みはしなやかさと脆さを示す(平島, 2005)。試料 1, 2 は図 3 に示す破断応力は高く、弾性域の傾きが急であるため、硬いといえる。破断歪みは小さいことより脆いといえる。一方で、試料 3, 4 の破断応力は低く、傾きは緩やかで、柔らかいといえる。また、試食した結果、試料 3, 4 はなめらかであった。このことから、カンテンの量による硬さ依存が示された。試料 3, 4 を比較すると、ゼラチンの添加により柔らかさが変化したことがわかる。ゼラチンはゲル化温度が低く、常温でゾル状に変化し始めたことが原因だと考えられる。高齢者の最大舌圧は 20～30kPa (津賀, 2008) だが、口内温度では更に溶けやすくなるので、実際に食べる場合は圧縮試験の結果より小さい舌圧で食品ゲルを潰すことができると考えられる。

6. 造形実験

フードインクを用いて、食品用 3D ゲルプリンタで実際に造形実験を行った。造形時吐出部の温度は 60℃を用いた。使用したフードインクはカンテンインク、納豆インク、米粉インクである。

6・1 カンテンインク

カンテン 1.0wt% (Sample 3 in Table 2) の配合のインクで造形を行った。見易いように赤の食紅も添加した。造形結果が図 4 (左) である。印刷するとゲル化前に溶液が時間と共に広がった。同様に、カンテン 2.0wt% (Sample 1 in Table 2) の配合のインクでの造形結果が図 4 (右) である。印刷するとゲル化が速く形状は維持したままだったが気泡が多く入った。寒天の添加量が多い場合に気泡が多く入った原因は主にフードインクの粘度と関係していると考えられる。カンテン量の増加につれ、フードインクの粘度が増加し、印刷した後は、温度が下がるとインクの外に逃げ切れない空気がインクの中に多く閉じ込められたと考えられる。

Fig. 4 Forming test of sample 3 (Left) and sample 1 (Right) listed in Table 2 by E-CHEF.

6・2 納豆インク

ここでは納豆味のゼリー食品を作ることを試みた．カンテンインクに粉末状の食品を添加することで，多種のゼリー食品が造形可能になる．6.1 ではよりカンテン濃度の高いインクでも溶液が広がることが分かった．添加する食品によるフードインクへの増粘効果が造形へ影響する．そこで，0.79wt%のカンテンインクに対して 5wt%の粉末納豆を添加し，納豆のネバネバ成分（高分子成分）による増粘効果の利用を試みた．添加した後の様子を図 5 に示している．表 3 に示す粘度測定（測定温度 60℃）の結果から増粘させることができたといえる．納豆インクで造形実験を行った結果が図 6 である．我々の実験では，粘度 500 mPa・s 以上のインクを造形しやすいことが分かった．カンテンの濃度が高ければ高いほど，造形した食の硬さは高くなる．また，カンテン濃度だけでなく添加する食材も造形へ影響する．低カンテン濃度でより高い粘度のフードインクをつくるには，納豆のネバネバ成分の増粘効果の活用が効果的である．

Table 3 Viscosimetry results.

	Agar ink	Natto ink
Viscosity [Pa・s]	3.65	8.38

Fig. 5 Natto ink.

Fig. 6 Natto gel printed by E-CHEF.

6・3 米粉インク

2.0wt%のカンテン溶液に対して 10wt%の米粉を添加したインクで造形を行ったところ，6 層積み重ねることと図 7 に示す立体の正三角形のおにぎりの印刷に成功した．図 8 にインクを型に流して固めたおにぎりを示す．寸法は図 9 の通りである．印刷して作ったおにぎり（図 7）とインクを型に流して固めたおにぎり（図 8）を比較する為に圧縮試験を行った．圧縮試験は型で固めたおにぎりとおにぎりを試料とし，それぞれ 3 回ずつ測定を行った．その結果を図 10 に示す．型で固めたおにぎりの最大応力は平均 22 kPa 前後であり，プリンタで作ったおにぎりの最大応力はその半分以下，約 10 kPa であった．プリンタで作ったおにぎりは，型で固めたおにぎりよりも弱い力で潰せることがわかる．型で作ったおにぎりは，層が存在せず一体化

しており、つぶすには高い破壊力が必要である。層間は弱い接着力でつながっているため、プリンタで作ったおにぎりが型で固めたおにぎりより、滑りやすく弱い力でもつぶせると考えられる。

Fig. 7 Rice ball by printing.

Fig. 9 Dimensions of the rice ball in Fig. 8.

Fig. 8 Rice ball with mold.

Fig. 10 Stress-strain curves of rice balls measured on compression tester.

7. 結 言

カンテンインクや納豆インク、米粉インクを開発し、それらのインクを用いて E-CHEF で造形を行った。開発したフードインクはカンテンやゼラチンの混合比や食品添加により、柔らかさ、硬さを調節可能であるため、咀嚼や嚥下に困難のある患者や高齢者用のソフト食品にもなると期待される。今後は、E-CHEF での調理条件を制御し、印刷食の形および食感を追究する。E-CHEF による食の創成に成功すれば、ボタンを押すだけで、それぞ

れの体調にあった形・食感・嚥下性の異なる食を、介護施設や病院だけではなく、各家庭でも簡単につくられるようになる。さらに、ICT (information and communication technology) や Web と結びつくことで、食のデジタル 3D データのやりとりが可能となり、個人ニーズに対応するオーダーメイド食の創成が期待される。

謝 辞

本研究の一部は GRENE (Green TriboNet), 若手(B) (25810123), 資生堂女性研究者サイエンスグラント, 山形大 新任教員スタートアップ, 米沢補助金, NEDO 若手研究 Grant(09A25003a), 基盤研究(B) (22350097)などの助成で実施された。ここに謝意を記す。

参 考 文 献

- Gong, J., Shitara, M., Serizawa, R., Makino, M., Kabir, M. H. and Furuakwa, H., 3D printing of gels and food, THERMEC' 2013, Las Vegas, Nevada, USA (2013).
- 平島円, 半固体食品におけるテクスチャーの好みに関する調査・第1報 牛乳かん, 岐阜市立女子短期大学研究紀要第55輯 (2005), pp. 85-87.
- Muroi, H., Hidema, R., Gong, J. and Furukawa, H., Development of optical 3D gel printer for fabricating free-form soft & wet industrial materials and evaluation of printed double-network gels, Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering Vol. 7 (2013), pp. 163-168.
- Serizawa, R., Shitara, M., Gong, J., Makino, M., Kabir, M. H. and Furukawa, H., 3D jet printer of edible gels for food creation, Proceedings of SPIE Smart Structures and Materials Nondestructive Evaluation and Health Monitoring (2014), pp. 90580A-90580A-6.
- 津賀一弘, 食で QOL 向上に直結する舌機能のリアルタイム数値評価, 第1回広島大学半導体・バイオ融合集積化技術シンポジウム (2008).

References

- Gong, J., Shitara, M., Serizawa, R., Makino, M., Kabir, M. H. and Furuakwa, H., 3D printing of gels and food, THERMEC' 2013, Las Vegas, Nevada, USA (2013).
- Hirashima, M., Research for favored texture of semi-solid foods I agar jelly with milk, Research Bulletin of Gifu City Women's College, 55 (2005), pp. 85-87 (in Japanese).
- Muroi, H., Hidema, R., Gong, J. and Furukawa, H., Development of optical 3D gel printer for fabricating free-form soft & wet industrial materials and evaluation of printed double-network gels, Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering Vol. 7 (2013), pp. 163-168.
- Serizawa, R., Shitara, M., Gong, J., Makino, M., Kabir, M. H. and Furukawa, H., 3D jet printer of edible gels for food creation, Proceedings of SPIE Smart Structures and Materials Nondestructive Evaluation and Health Monitoring (2014), pp. 90580A-90580A-6.
- Tsuga, K., Real-time numeric evaluation of tongue function will improve dietary Quality of Life, The 1st Integration Technologies Symposium of Semiconductor and Biotechnology Interdisciplinarity (2008) (in Japanese).