

食品 3D プリンタの材料押し出しスクリューの形状最適化

Optimization of Material Extrusion Screw Shape for Food 3D Printer

一森 湧¹, 渡邊 洋輔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,
小川 純², 川上 勝², 古川 英光²

Izumi ICHIMORI¹, Yosuke WATANABE², MD Nahin Islam SHIBLEE², Ajit KHOSLA²,
Jun OGAWA², Masaru KAWAKAMI², 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】

近年,食品の 3D プリンティングに関する研究が数多く報告されているが,殆どの場合,シリンジポンプ方式が用いられており,吐出の細かい制御や,高粘度食材の吐出には向いていない.その点でスクリュー押し出し方式が吐出法としては優れているが,それでも食品の粘度によっては,吐出できなかつたり,吐出性能に差が生じたりする可能性がある.

スクリュー方式の吐出において,吐出可能な材料粘度範囲や,材料粘度がおよぼす吐出性能への影響は,スクリューの形状が深く関係していると思われる.本研究では,スクリューの最適な形状を検討し,幅広い粘度の食材の吐出を可能とし,粘度による吐出量の影響が少ないスクリューを設計することを目的とする.本発表では,食品の粘度とスクリューのピッチ幅の関係に焦点を当て,3D プリンタで作成した様々なピッチ幅のスクリューで,様々な粘度の食品材料の吐出試験を行い,スクリューの形状と材料の粘度,吐出量の関係を調べたので報告する.

キーワード:食品 3D プリンタ, スクリュー,流体シミュレーション,押し出し装置

【Abstract】

In recent years, many studies on 3D printing of food have been reported, but in most cases, the syringe pump method is used, which is not suitable for fine control of ejection or ejection of high-viscosity food materials. In this respect, the screw extrusion method is superior as a dispensing method, but even so, depending on the viscosity of the food, it may not be possible to extrude or there may be a difference in extrusion performance.

In the screw type extrusion, the range of material viscosity that can be dispensed and the effect of material viscosity on the dispensing performance are thought to be deeply related to the shape of the screw. The purpose of this study is to investigate the optimum shape of the screw and to design a screw that can dispense food materials with a wide range of viscosities and that is less affected by viscosity. In this presentation, we focus on the relationship between the viscosity of food and the pitch width of the screw. We report on the relationship between the shape of the screw, the viscosity of the material, and the discharge volume by conducting discharge tests of food materials of various viscosities with screws of various pitch widths created with a 3D printer.

Keywords:3D, food 3D printer, screw, Fluid Simulation, extruder

1. 序論

近年,食品 3D プリンタへの関心が高まっており,様々な食品を造形できる食品 3D プリンタの研究が盛んに行われている.我々の研究室ではスクリュー方式の食品 3D プリンタを利用しているが,食品によっては吐出が難しかったり,安定しなかつたりすることがあり,これがスクリュー方式の課題と感じている.造形される食品はそれぞれ粘度などの物性が異なるため,スクリューの吐出性能は食品の性質に影響を受けていると考えられる.様々な食品の造形を可能にするためには,食品の物性とスクリュー形状の関係を調査し,適切なスクリュー形状を見つけることが必要と考えた.

本研究ではスクリュー方式の食品 3D プリンタと 3D プリンタで試作したスクリューを用いて様々な粘度の食品の吐出試験を行うとともに,ANSYS Fluent を利用して流体シミュレーションを行い,食品粘度と吐出量の関係を

検証する.

2. 実験

2-1. 実験装置

本実験では,世紀株式会社製の 3D フードプリンター FP-2500(図 1)を使用した.このスクリューの制御には制御ソフト(pronterface)を使用した.

吐出試験は,ピッチの異なる 3 種類のスクリューを作成し,FP-2500 に取り付けて吐出試験を行った(図 2).各スクリューのパラメーターを表 1 に示す.ピッチ以外の外径などのパラメーターはすべて同じである.このスクリューはナノダックス社製のガラス繊維強化フィラメント(図 3)を用いて,3D プリンタ(Ender3-pro)で作成した.試料の粘度測定には Anton Paar 社の MCR302 を使用した.

表 1 各スクリューのパラメーター

スクリュー名	ピッチ
スクリュー1	14mm
スクリュー2	10mm
スクリュー3	7mm
付属スクリュー	10mm



図 1 食品 3D プリント FP-2500

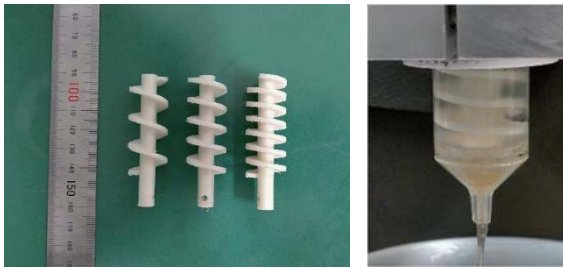


図 2 作成したスクリュー



図 3 ナノダックス製 ガラス繊維強化 PP フィラメントと 3D プリント(Ender3-pro)

2-2. 試料

本研究では、これまでに吐出したことのある試料の中から粘度の異なる 3 種類の試料(表 2)を用いて吐出試験を行った。レオメーターによる各試料の粘度測定結果は図 4 のようになった。

表 2 試料

試料番号	材料
1	ムースアップ 9g, 精製水 100ml
2	α 米粉 50g, 精製水 125ml
3	米粉 22.5g, 寒天 3g, 精製水 220ml

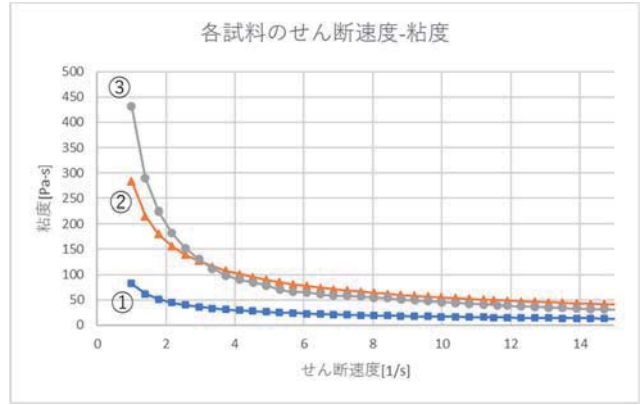


図 4 試料の粘度測定結果

2-2. 実験方法

はじめに、3D プリントしたスクリューが吐出試験に適しているか確認するため、FP2500 付属の金属製スクリューと 3D プリントしたスクリューで吐出量の比較を行った。付属のスクリューと同じ寸法でスクリューを印刷し、試料②を用いて吐出試験を行った。金属と 3D プリントスクリューを 60rpm で 20 回転させ、それぞれ 12 回吐出量測定を行い、平均と標準偏差を算出した。吐出試験の結果を表 3 に示す。この結果より、3D プリントで作成したスクリューは吐出試験に使用できると判断した。



図 5 金属スクリューと 3D プリントスクリュー

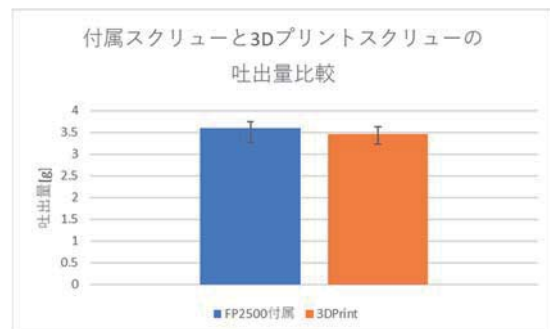


図 6 金属スクリュー(左)と 3D プリントスクリュー(右)の吐出量比較

吐出試験は、3D プリントで作成したピッチの異なる 3 種類のスクリューを FP2500 に取り付け、回転速度 6, 12, 60rpm でスクリューを 20 回転させ、吐出量を測定した。吐出量は各条件で 5 回測定し平均を算出した。

3. 結果と考察

吐出試験の結果を以下の図に示す。

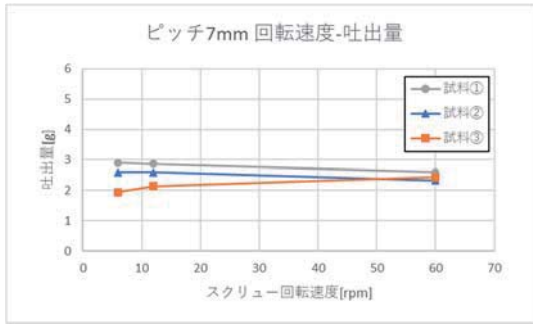


図 7 ピッチ 7mm での吐出試験結果

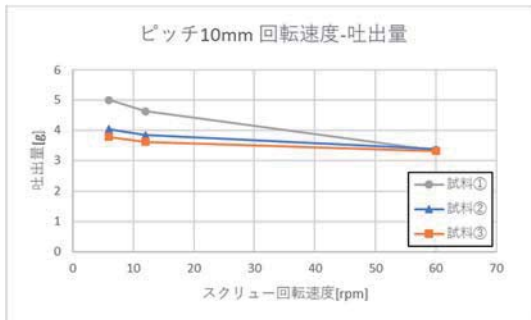


図 8 ピッチ 10mm での吐出試験結果

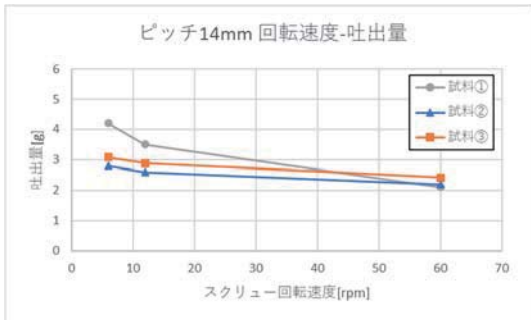


図 9 ピッチ 14mm での吐出試験結果

各スクリーを比較すると,図 7.8.9 より,ピッチ 10mm での吐出量がいずれの条件においても多いという結果となった。

スクリー回転速度と吐出量の関係を見ると,スクリー回転速度が速くなるほど吐出量が減少する傾向がみられる。これは,回転によりスクリーと壁の間でせん断速度が高くなることで,隙間から逆流してしまうことが原因と考えられる[1].特にピッチ 10mm と 14mm で吐出した際の試料①で吐出量の減少が大きい。

ピッチ 7mm の場合は,回転速度による影響が少ないといえる。逆にスクリーのピッチが大きいほど,吐出量が回転速度の影響を受けやすいといえる。

次に,粘度と吐出量の関係を見るため,スクリー部におけるせん断速度を求める。シリンダー直径 D,スクリー回転速度 N,スクリーの溝深さ H とすると,スクリー部において試料に与えられるせん断速度は次式で表さ

れる[2].

$$\dot{\gamma} = \frac{\pi DN}{H}$$

この式にスクリー外径 D19.7mm,回転数 N,溝深さ H5.85mm を当てはめるとそれぞれの回転速度におけるスクリー部のせん断速度が求められる。以下の表にスクリー回転速度とせん断速度の関係を示す。

表 3 スクリュー回転速度とせん断速度

回転速度	6rpm	12rpm	60rpm
せん断速度	1.06	2.12	10.6

表 3 より,スクリー回転速度と粘度の関係を求めると表 4 となる。

表 4 スクリュー回転速度と粘度

	6rpm	12rpm	60rpm
試料①	77.78	48.65	16.36
試料②	273.9	166.1	51.95
試料③	402.9	200.6	39.73

表 4 の値を用いると,各スクリーにおける粘度と吐出量の関係は図 10,11,12 のようになる。

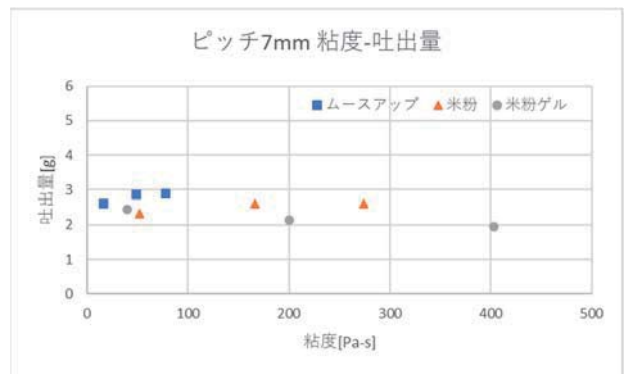


図 10 ピッチ 7mm スクリューの粘度-吐出量の関係

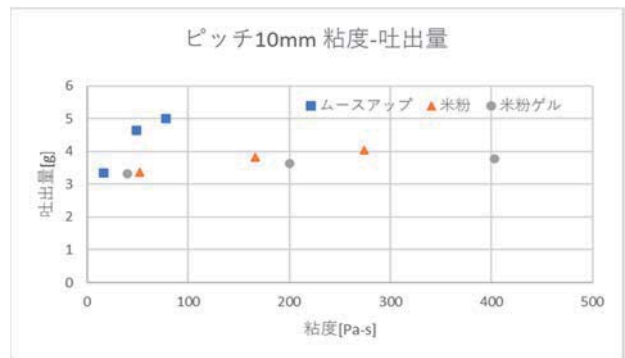


図 11 ピッチ 10mm スクリューの粘度-吐出量の関係

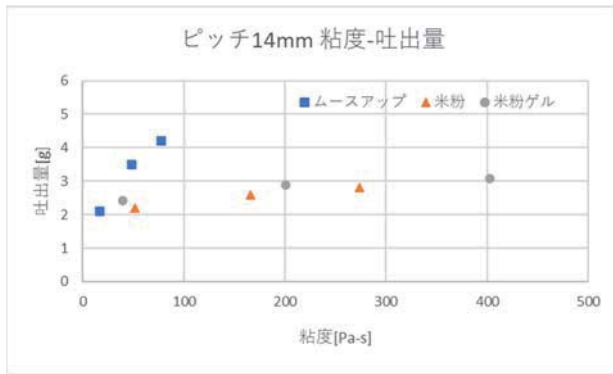


図 12 ピッチ 14mm スクリューの粘度-吐出量の関係

図 10,11,12 を比較するとピッチ 7mm では粘度が変化しても吐出量は大きく変化しないことが分かる。

今回使用したスクリューの中で最もピッチが小さいピッチ 7mm のスクリューでは、吐出量が回転速度や試料の粘度に左右されにくく、安定した吐出ができることが分かった。

4. 結言

今回の結果より、ピッチが小さいスクリューでは吐出が安定することが分かったが、吐出量がピッチ 10mm の結果と比較して少ないため、実際の造形に利用できるか確認する必要があると感じた。

今回は、これまでに吐出したことのある材料の中から粘度の異なる 3 種類の試料を選択し、主に吐出の安定性について調査した。今後は、これまでに吐出できなかった試料等を用いて、スクリューの吐出可能な粘度の範囲を調査し、より幅広い粘度の試料を吐出できるスクリューの設計に繋がりたいと考えている。

参考文献

1. Chao-Fan Guo, Min Zhang, "A comparative study between syringe-based and screw-based 3D food printers by computational simulation", Computers and Electronics in Agriculture (2019), pp.397-404.
2. <https://www.hasl.co.jp/kajiwara2015.pdf>(accessed 2021/9/17)