

SugarPen : 糸飴による任意立体造形のための 3D プリントペン

戸崎 崇文^{1,a)} 平井 重行^{†1,b)}

概要 : ケーキやアイスクリームの装飾として使われる飴細工の糸飴（シュクルフィレ）は、高温の砂糖が固まる瞬間に造形するもので、一般的な作成技法では任意の立体形状に造形することが難しい。本研究は、任意の立体形状の糸飴を作る手法の確立を目的に、3D プリントペンの機構を基にした糸飴造形を行う SugarPen の開発を行っている。本稿では、3D プリントペンで砂糖を加熱出力することを試みた結果および高温材料の出力直後にエアで冷却して瞬時に固める効果について主に述べる。

1. はじめに

洗練された菓子は味だけでなく美観を重視することも多々あるが、中でも飴細工は特に美観を重視するものと言える [1]。ケーキやアイスクリームなど洋菓子の装飾として使われる飴細工の一種、糸飴（シュクルフィレ）は細い糸状で複雑に絡んだ姿のもので、特に美観を主にしている。その造形技法は、熱してカラメル状になった砂糖が固まる瞬間を活用し、スプーンやフォークで振って飛ばしながら細くして冷ますことで造形する。糸飴の作成例を図 1 に示す（筆者による自作糸飴）。キッチンにある調理器具などに糸飴を絡めて特定の形状を容易に造形する手法は知られているが、任意の立体形状を造形することはプロでも困難である。そこで、本研究では、3D プリントペンの機構を用いることで誰でも容易に任意形状の糸飴を造形できる手法およびその機器の実現を目的とする。3D プリントペンを用いる利点は、造形する 3D モデルをコンピュータ上であらかじめ用意する必要がなく、誰でも手軽に造形できる点にある。この研究は、食品に関するデジタルファブ리케이션研究の側面もあると言える。本稿では、砂糖を加熱して細く出力することで容易に糸飴を造形する SugarPen の開発について、その砂糖材料の加熱出力を試みた結果およびエア噴射による材料の冷却効果について主に述べる。



図 1 糸飴の作成例（クリームの上の黄色い飴）

2. 関連研究・機器

Pok はガラス用 3D プリンタを元にした飴細工用 3D プリンタを開発した [2]。これは、FDM (Fused Deposition Modeling) 方式として加熱溶融した砂糖を積層し、透過性のある風合いと着色による美しい造形が可能である。ただ、材質と太さの関係から低面に描いた図形上を積層する形での造形が基本であり、従来の 3D プリンタほど自由で様々な形状を造形できていない。飴プリンター [3] では、オープンソース 3D プリンタ Rep Rap を元にして、一般的な FDM 方式の 3D プリンタでのフィラメント利用と同等の精度および構造での造形を実現している。また、ChefJet Pro [4] でも早くから FDM 方式で砂糖の造形を可能にしている。ただ、これらは従来の 3D プリンタと同様にあらかじめ PC で 3D モデルを用意しておく必要があるうえ、糸飴ほど細くて自由な造形ができるわけではない。CandyFab

¹ 京都産業大学 コンピュータ理工学部

^{†1} 現在、京都産業大学 情報理工学部

^{a)} g1544953@cc.kyoto-su.ac.jp

^{b)} hirai@cse.kyoto-su.ac.jp

プロジェクト [5] では、高温のエアを噴射する CNC 装置を作成し、平面上に敷き詰めた砂糖を部分的に溶融・凝固させて様々な立体形状の飴を造形可能としている。これは CNC 機械として大型であり、造形データをあらかじめ作成して制御する必要があるほか、造形できる飴も比較的大きなものとなる。

本研究で開発する SugerPen は、これらに比べて小型であり、手で立体を描くことで造形することからあらかじめ 3D モデルデータを用意しておく必要がなく、手軽に扱えることを特徴とする。一方、SugerPen は、3D モデルを用いず造形するため、同じ形状のものを複数造形することが容易ではないことが欠点と言える。

3. SugerPen の概要

本研究は、従来の FDM 方式で造形するのではなく、糸飴として自由に造形できる手法の確立を目指している。そこで、3D プリントペンが子供でもお絵かきする感覚で立体物を造形することができる点に着目した。既存の 3D プリントペンは、PLA/ABS 樹脂のフィラメントを差し込み、ペン先のヒーターでフィラメントを溶融して糸状にして出力するものである。材質によって溶融温度が多少違うものの、およそ 180-230℃ の範囲でヒーターが機能する 3D プリントペンが多い。一方、糸飴の材料である砂糖は、水に溶かした状態で 140℃ 以上に加熱した状態から冷ますと加熱した温度によって結晶や飴状などに固形化でき、色にも違いが出てくる [6]。また、砂糖の融点はおおよそ 150-180℃ である。そこで、我々は温度調節可能な 3D プリントペンを元に SugerPen を開発することとした。また、3D プリントペンのペン先から溶解した砂糖が糸状に出力されても、その太さや温度によってすぐに固形化するとは限らない。そこで、SugerPen ではペン先付近でエアを噴射することで、熱い砂糖を強制的に冷却して固形化し、ペン先で描いた軌跡のまま造形することを考案した。

4. 溶融砂糖の出力に関する試み

4.1 実験概要

PLA/ABS 樹脂を出力する 3D プリントペンで、フィラメントの代わりに砂糖を出力することを試みた。ここでは、温度調節機能を持つ 3D プリントペンとして、Homecube の 3D STEREO DRAWING PEN を元に、様々な砂糖をペン先で溶融して出力する実験を行った。その際、従来のフィラメントをペン先に送るためのモータやギア、またフィラメント用のチューブを取り外し、代わりに内径 6mm のフッ素樹脂による耐熱チューブを取り付けた。

4.2 様々な砂糖での出力の試み

砂糖は種類により粒径や湿り気が異なることから、様々

な砂糖で耐熱チューブでの砂糖の通り易さや、ペン先のヒーター部での加熱出力の可否などを試した。今回用いた材料は、固体で粒径の異なるものとして、粉砂糖と三温糖、グラニュー糖、中ザラ糖、また液体のものとして砂糖混合果糖ブドウ糖液糖（俗に言うガムシロップ）を用いた。表 1 に各糖の粒径等の情報を示す。また図 2 に今回試みた 3D プリントペンの内部構造について示す。

表 1 試した砂糖とその粒径

砂糖の種類	粒径	どの部分まで出力可能か
粉砂糖	非常に細かい	耐熱チューブ
三温糖	0.2~0.3mm	耐熱チューブ
グラニュー糖	0.5mm	細い管
中ザラ糖	2.2mm	耐熱チューブ

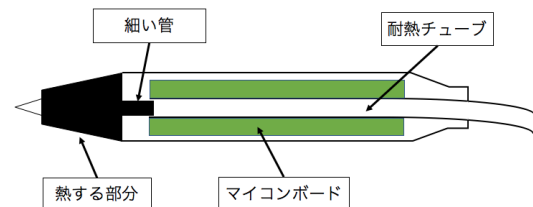


図 2 改造した 3D ペンの内部構造

4.3 実験結果

4 種類の固体の砂糖については、特に耐熱チューブ内に圧力をかけなければいずれもペン先から出力ができなかった。グラニュー糖については、他の砂糖に比べて粒子表面が滑らかなためヒーターユニットの細い管まで圧力なしで届いたが、ヒーターユニットを通してペン先からは出てこなかった。一方で砂糖混合果糖ブドウ糖液糖については、粘度のある液体だがペン先まで届き、ヒーターで加熱されてペン先から出力ができた。ただ、特に耐熱チューブにエアでの圧力をかけたりはしておらず、出力量と加熱の熱量の制御をしていないことから、べっこう飴の色やカラメルソース色で出たり、焦げ茶色のカラメル化した状態で出力されたりし、安定したカラメルソース色のものとして出力はできなかった。この結果を図 3 に示す。砂糖混合果糖ブドウ糖液糖については、耐熱チューブ部分でも加熱するユニットにし、加熱区間を長くして材料の温度コントロールを適切に行うべくヒーター制御を行うほか、耐熱チューブ中の材料をペン先へ押し出す力をエアでの圧力コントロールで行えるようにする必要もあると考えられる。そして、それらを踏まえて、ペン先から糸飴として安定した出力が行えるようにするべく、改良を重ねる必要がある。

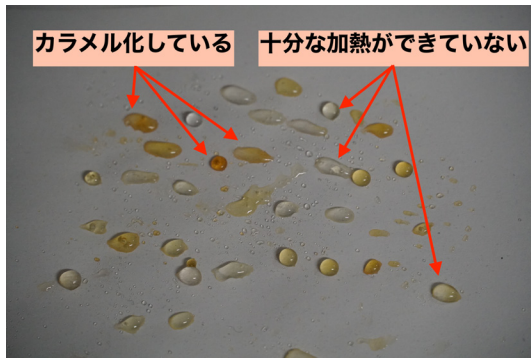


図 3 砂糖混合果糖ブドウ糖溶液での出力結果

5. 冷却機能に関する試み

5.1 実験概要

前章で示した通り、加熱した砂糖のペン先からの出力は行えていないが、ペン先から出力された加熱材料をエアで冷却して瞬時に固めて造形するための機能についても別途実験を行った。ここでは、従来の PLA/ABS 樹脂のフィラメントを用いて、3D プリントペンのペン先付近でのエア噴射を試みた。これら従来の樹脂フィラメントは、加熱された材料が糸状となってペン先から出力された後、しばらく熱を持っていて柔らかい状態が続く。そのため、出力直後の糸状の樹脂は特に何も支えがない箇所できなり立体的な造形をすることはできない。3D プリントペンで立体造形された作品は多数制作されているものの、いずれも最初は平面に土台を描いて少しずつ積層させたり骨組みを描いていくなどして、徐々に立体へと仕上げていく形で造形される。加熱した砂糖を糸状に出力できても、結局は同様の状態であることから、樹脂フィラメントでの冷却が実現できれば、加熱砂糖でも同様に実現できると考えられる。

5.2 ペン先での冷却のためのノズルパーツの作成

3D プリントペンに冷却機構を備える場合、理想的にはペン内部にエアを送り込むパイプが通っていて、ペン先付近にて噴射するノズルが付く形が望ましい。ただ、まずはエアでの冷却が有効に機能するかを確かめるため、今回は 3D プリントペンへの外付けパーツとして、3D プリンターでノズルを ABS 樹脂にて作成した。ABS 樹脂を用いたのは、PLA 樹脂だとペン先付近の加熱ユニットの熱で変形してしまう可能性を考慮したためである。その噴射ノズルの外付けパーツを 3D プリントペンに取り付けた様子を図 4 に示す。このパーツのパイプをチューブを介してエアコンプレッサに繋いだ。これによりコンプレッサからペン先へエアを送り込んで噴射し、ペン先から出力された樹脂を瞬時に固形化することを試みた。



図 4 外付けパーツを取り付けた様子

5.3 エアでの冷却効果の確認

図 5 にエアを出力せず冷却しない場合のフィラメントの出力結果とエアを出力して冷却した場合の結果を示す。図 5 における [A] は垂直にフィラメントを出力した結果、[B] は立方体を造形した際の出力結果である。どちらも左がエアを出力せず冷却しない場合のフィラメントの出力結果、右がエアを出力して冷却した場合の結果である。図 5 から、エアを出力して冷却した場合、ペン先から出力された樹脂が瞬時に固形化し、空中で立体的に造形できることを示している。これにより、この方法での冷却に効果があることが確認できた。ただし、描く速度によっては、ペン先から出力されるフィラメントに当たるエアの量が減り、十分に固形化できなくなることも確認できた。これについては、3D プリントペンにモーションセンサを内蔵し、ペン先の動きの速さに応じてエアの圧力調整もしくは噴出方向・範囲を調整して冷却効果を動的にコントロールする機構を用意することで、対応ができると考えられる。

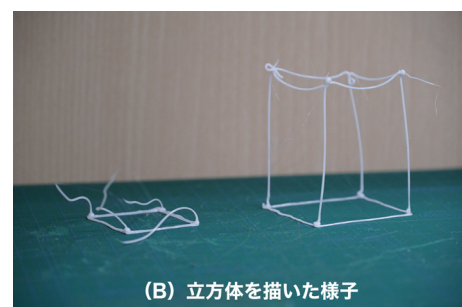
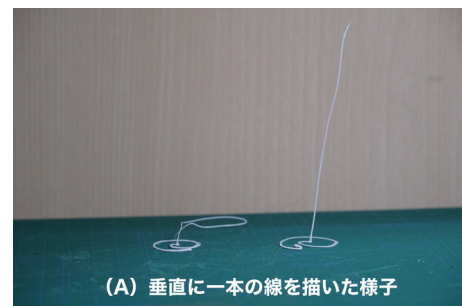


図 5 ペン先での冷却有無による造形結果
(それぞれ左側が冷却なし、右側が冷却あり)

6. おわりに

本研究は、一般的な作成技法では任意の立体形状に造形することが難しい糸飴に対し、それを実現するための3Dプリントペンを元にしたSugarPenの開発について述べた。ヒーターユニットがあるペン先から砂糖や液糖を加熱出力することを試みた結果、砂糖混合果糖ブドウ糖液糖が比較的输出力に向いていることが確認できた。だが、安定して出力させるためには、材料をペン先へ送り込む機構や加熱温度の調整を動的に行う機構が必要であることも確認できた。一方、ペン先から出力された加熱材料を瞬時に固形化して任意の立体形状を造形すべく、ペン先でエアの噴射による冷却機能は有効であることが確認できた。ただ、ペンの動作に応じたエア量の調整が必要であることも確認された。今後はこれらを踏まえ、3Dプリントペンにすべてを内蔵して一体型で動作するSugarPenの開発を進めていく。そして、これまでにない形状の糸飴作成を実現することで、食品のデジタルファブリケーション技術と文化への貢献をしていきたい。

参考文献

- [1] 宮内昭, 西浦孝輝: 菓子(その1), 調理科学 Vol.17 No.1(1984).
- [2] Pok Yin Victor Leung, Sugar 3D Printing: Additive Manufacturing with Molten Sugar for Investigating Molten Material Fed Printing, 3D Printing and Additive Manufacturing, Volume 4, Number 1, pp.13-18 (2017).
- [3] 実食! 3Dプリンターで飴細工を出力してみたー砂糖が素材のフードプリンターが生まれるまで
URL: https://fabcross.jp/category/make/20181212_ame_3dprinter.html
- [4] ChefJet Pro,
URL: <https://wired.jp/2015/01/23/chefjet-3d/>
- [5] CandyFab,
URL: <https://candyfab.org/>
- [6] 熱を加えて七変化: 砂糖と調理の科学, 精糖工業会,
URL: <https://seitokogyokai.com/science/changes/>