

## 空気圧式と熱溶解式を統合した複数材料押出による AM の研究

明治大学理工学部機械情報工学科 ○長谷川舜 明治大学理工学部機械情報工学科 ◎館野寿丈

### 要旨

構造物と電気配線の一体造形を、低コストで実現することを目的とし、絶縁材料であるナイロンの熱溶解押出と、導電材料であるはんだペーストの空気圧式押出を統合した AM 装置の開発を目的とする。研究内容として RepRap 型の AM 装置のノズルの1つを空気圧式に改造した。試作機で作成した造形物を加温リフローする実験、造形精度の評価実験を行った。

### 1. 諸言

一般的に 3D プリンターと呼ばれているアディティブマニュファクチャリング(AM)は、材料を積層して造形をおこなう。積層方式には種類があり、樹脂を溶かして押し積層する熱溶解式、紫外線レーザーを光硬化樹脂に当てて層を作っていく光造形方式、

粉末状の材料にレーザーを当てることによって焼結させる粉末焼結方式など様々だ。AM の中にも材料を押し出すためのノズルが複数ついているものがあり、造形物の色分けが出来たり、サポート材として水に溶ける材料を使用することで複雑な構造物の作製が容易になったりと様々な用途に使用することができるが、違う押出方式を持つ AM は少ない。

近年になって熱溶解式と空気圧式押出を同時に行うことのできる AM が開発され、構造物と電気配線の一体造形が可能となった。しかし、導電材料となる銀インクは非常に高価であるため、低コストな導電材料が求められる。

本研究で、銀インクの代わりにはんだペーストを用いた空気圧式押し出しと熱溶解積層法を使った、デュアルヘッドの AM 装置の開発と造形物の評価を行う。

### 2. 実験装置の作成

#### 2.1 シリンジ取付台の作成

本研究で用いる AM には、LULZBOT TAZ5 を使用する。当該機は熱溶解式で、フィラメントを押し出せるデュアルヘッドの AM である。空気圧式で材料を押し出すための容器(シリンジ)を設置するため、取付台を作成する必要がある。シリンジはプラスチックシリンジ 5ml(PSY-5E-M)を使用する。

使用する AM のツールヘッドを図 2.1.1 に示す。このツールヘッドはノズルが 2 つある Dual Extruder Tool Head タイプである。左側のノズルはこのまま使用し、右側にあるノズルを取り外し空気圧式押し出しに使用するシリンジを取り付けるための台を作成する。

作成したモデルを図 2.1.2 に示す。他の部品に干渉なく設置することが出来た。しかし AM は出力する際に、ベッド温度の確認、ノズル温度の確認、ステッピングモータの接続確認をしてから出力するという工程があるため、ヒーターと温度計を設置することで起動することを確認している

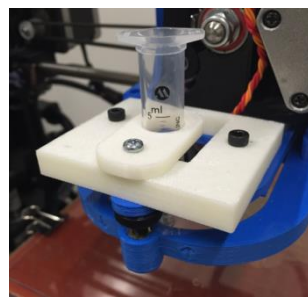
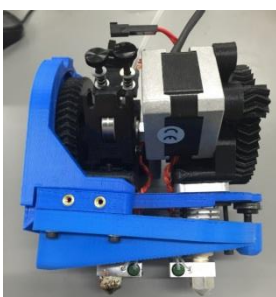


図 2.1.1 AM のツールヘッド 図 2.1.2 作成したステージとシリンジ

#### 2.2 回路の作成

ここでは押し出し方法の手順を説明する。

まずは熱溶解式の押し出しについて説明する。

押出の信号はステッピングモータに送られる。それによりノズルの先のプーリーが回転し、フィラメントと呼ばれる線状の材料を押し出す。先端にはヒーターがついており、材料を半液状にすることで押し出すことができる。

次に空気圧式の押し出し方法について説明する。本来、押出の際にステッピングモータに送られる信号を、ノイズが乗らないように電氣的につながっていないフォトカプラを使った回路で抽出する。抽出した信号は Arduino を使い ON/OFF 信号に変換され、ディスペンサの空気圧の制御を行う。それによりシリンジに詰められている材料を押し出すという仕組みである。

実験装置の構成図を図 2.2.1 に、装置を図 2.2.2 に示す。

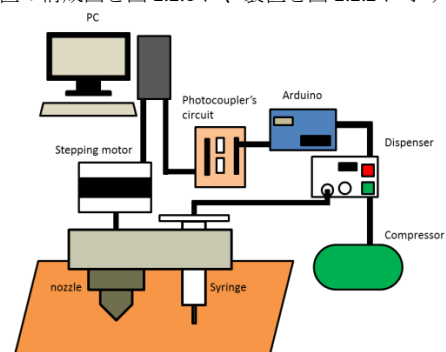


図 2.2.1 実験装置の構成図

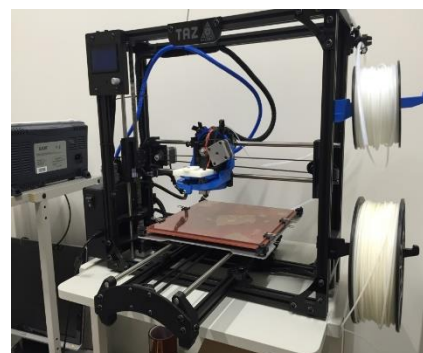


図 2.2.2 実験装置

### 3. 実験方法

#### 3.1 造形精度の評価実験

評価する際に造形する 2 種類のモデルを図 3.1.1 に示す。直方体部分は熱溶解式でナイロンを、モデルの溝の部分には空気圧式ではんだペーストを押し出して一体造形する。溝幅は 1mm、2mm と設

定している。使用するナイロンは taulman3D の 645Nylon を、はんだペーストは HONG KONG WELSOLO METAL TECHNOLOGY の XG-50 を使用する。熱溶融式のノズル径は 0.5mm、ノズル温度は 230°C、空気圧式のシリンジのノズル径は 0.52mm を使用する。

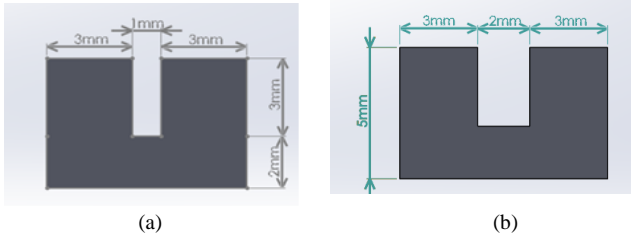


図 3.1.1 作成するモデル(奥行き 15mm)

### 3.2 リフロー実験

材料となるはんだペーストは通常だと導電性を持たないので、加温(リフロー)することで導電性を確保する。作成する AM によって押出される構造物は熱溶融式によるナイロン(融点 265°C)と空気圧式によるはんだペーストの 2 種類によって構成されているため、熱溶融式で押し出された材料が変化することなくはんだペーストが導電性を確保できる温度を調査する必要がある。リフロー時の温度は 180°C で行う。炉に入れ、指定した温度で 30 分加温し、その後の材料の形状変化の確認やはんだペーストが導電性を確保しているかを確認する。

## 4. 実験結果と考察

### 4.1 造形精度の評価実験

作成した AM によってナイロンとはんだペーストの一体造形を行った。作成した構造物の正面図を図 4.1.1 に、平面図を図 4.1.2 に示す。(a)は溝が 1mm の時、(b)は幅が 2mm の時である。

印刷直後は、どちらもはんだペーストが外に押し出されていた。原因として、AM は目的の構造物を 1 層毎に印刷して造形するのだが、はんだペーストを印刷後ナイロンの印刷に移行した場合、熱溶融式のノズルの先端がはんだペーストに当たってしまい、一部をふき取るようになってしまったことが考えられる。特に、はんだペーストを積層し始めた 1 層目は、多くふき取られており、それ以降は前の層の溝に押し出されていた。そのため下の層に空洞ができていた。また、押し出されたナイロンの表面温度が高いため、塗布されたはんだペーストが軟化し広がってしまったことも原因として考えられる。

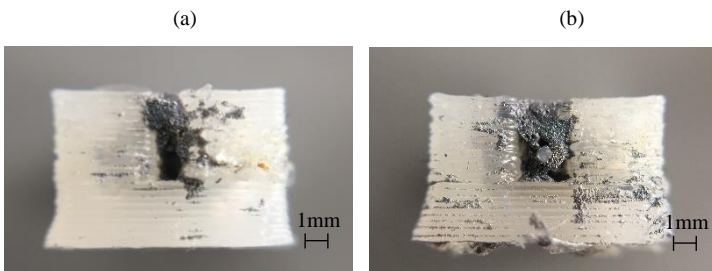


図 4.1.1 作成した造形物(正面)

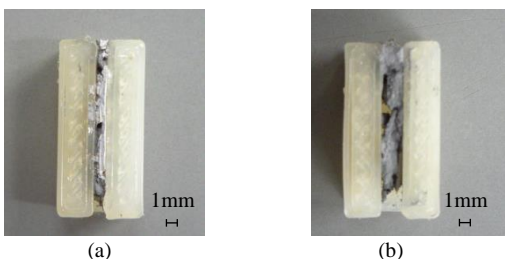


図 4.1.2 作成した造形物(平面)

### 3.2 リフロー実験

リフロー後の造形物の正面図を図 3.2.1、平面図を図 3.2.2 に示す。材料となるナイロンは多少色が変化したが形状が変化することはなかった。設定温度でリフローした場合、はんだペーストの導電性は確認することができたが、溝幅が 2mm の時には一部確認できなかった箇所があった。原因としてはんだペーストがナイロンにしっかり塗布されておらず、とぎれとぎれになってしまったことが考えられる。このため、押し出しプログラムの工夫が必要であることが分かった。

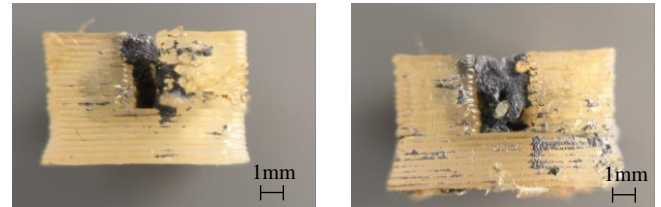


図 3.2.1 リフロー後の造形物(正面)

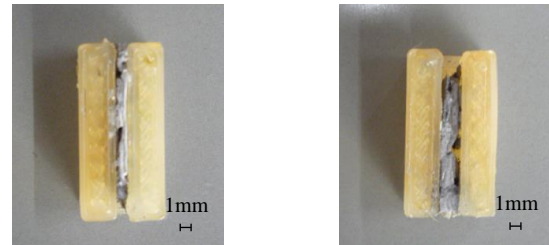


図 3.2.2 リフロー後の造形物(平面)

## 4. 結言

実験装置の作成では、以下の手順により異なる押し出し方式で、複数材料を 1 つの AM 装置で出力することを可能にした。

- (1) 既存のノズルのヘッドの片方ははんだペーストを押し出す容器(シリンジ)の台を作成した。温度感知をしないと出力されないため、直接使用はしないがヒーターと温度計を設置した。
- (2) ステッピングモータからくるパルス信号をノイズなしに取り出すためにフォトカプラを使った信号抽出回路の作成を行った。この回路では何も信号が届いていないときには 5V の波形を示し、ステッピングモータから信号が来た際には 0V となる。
- (3) 抽出した波形から空気圧式のディスペンサの ON/OFF 信号に変換するため、Arduino を使ってプログラムを作成した。プログラム内容としては 0.1 秒ごとに電圧の変化があるかどうかを確認し、あれば ON、なければ OFF にするプログラムである。

造形精度の評価実験では実際に作成した装置で、熱溶融式ではナイロンを、空気圧式ではんだペーストを出力し簡易的なモデルを一体造形した。

はんだペーストを設定温度でリフローすることで、はんだペーストの導電性を確認した。

### 参考文献

- 1) Amit J. Lopes a, In Hwan Lee, Eric MacDonald, Rolando Quintanac, Ryan Wicker, 2014, Laser curing of silver-based conductive inks for in situ 3D structural electronics fabrication in stereography