

平成 30 年 6 月 10 日現在

機関番号：33924

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05735

研究課題名(和文) 選択的マイクロ放電焼結・溶融による金属積層造形法

研究課題名(英文) Additive Manufacturing Method with Metal Powder by Selective Sintering and Melting Using Micro Electrical Discharge

研究代表者

古谷 克司 (FURUTANI, Katsushi)

豊田工業大学・工学部・教授

研究者番号：00238685

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では近接させた電極対と粉末層間で発生する放電により金属粉末を固化させることで3次元形状を創成する積層造形法を提案した。

粉末床溶融法では金属粉末を直接固化可能であるが、熱源が高価である。提案した手法では放電を利用するため安価に装置を構成できる。純鉄粉末に対してツイン電極から放電して、形状創成したい部位を選択的に固化させた。その結果、立体形状を形成できることが明らかになった。トランジスタ放電回路を利用することで、放電点近傍の粉末の飛散量を低減した。

研究成果の概要(英文)：This study proposed an additive manufacturing method with metal powder solidified by electrical discharge and demonstrated three-dimensional (3D) shape fabrication. 3D modeling machines by Powder Bed Fusion (PBF) can be used to fabricate prototypes and small-lot products by solidifying metal powder directly. Because their heat sources such as laser or electron beam are still expensive, it is difficult to lower the cost of the machines. The proposed method is a kind of PBF. A 3D shape is fabricated by repeating the spread of metal powder and solidification by electrical discharge with twin electrodes in air. The twin electrodes are connected to a capacitance discharge circuit with a bipolar DC power supply. The fabrication of 3D shapes were demonstrated by scanning the twin electrode and lifting powder layers. The powder around the discharge position sometimes scattered due to the discharge or adheres to the electrode. Using a transistor discharge circuit reduced the scattering.

研究分野：精密加工学

キーワード：付加製造技術 放電 粉末床溶融結合 走査 ツイン電極 帯電

1. 研究開始当初の背景

近年、付加製造技術 (Additive Manufacturing: AM) を利用した 3 次元造形装置が一般的になるにつれて、さまざまな分野で応用され、試作品だけでなく、最終製品の少量生産にも用いられるようになってきている。さらに、生体組織の試作やマイクロロボットの製作やデザイン、教育分野のように、機械製造以外の分野でも応用が広がりつつある。実用段階を迎え、高速化、高精度化が今後の解決すべき問題の主流になりつつある。

一般に、安価に入手できる積層造形装置では、ABS や PLA などの樹脂を溶融しながら積層する溶融物堆積法 (Fused Deposition Modeling: FDM) が用いられる。金属粉末をレーザや電子ビームを用いて溶融・焼結させて直接積層造形する粉末床溶融結合法 (Powder Bed Fusion: PBF) は、製品のプロトタイプを製作するだけでなく、工具を作ることに役立つ。一方で、金属部品を製作する市販の装置では、熱源であるレーザまたは電子ビーム源が高価であるため装置の低価格化が困難であるという問題も残っている。

2. 研究の目的

本研究では、大気中において近接させた電極対と粉末層間で発生する放電により粉末を選択的に固化させて層形成を繰り返すことで、3 次元形状を創成する積層造形法を開発することを目的としている。

3. 研究の方法

提案する方法では、近接させた電極対と粉末層間で発生する放電により粉末を固化させることで 3 次元形状を創成する。原理を図 1 に示す。装置は造形するための粉末層、その中で全体を上下させるリフト、粉末を固化させるための放電を発生させる放電ユニット、これを形状のデータにしたがって移動さ

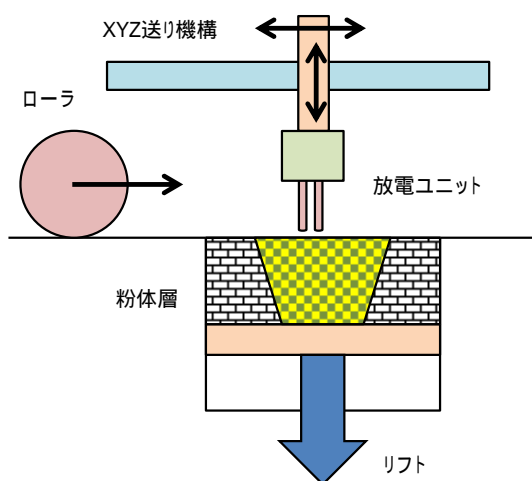


図 1 放電を利用した粉末積層造形法の原理

せる XYZ 送り機構、粉末を薄い層にして粉体層とするためのローラなどから構成される。放電ユニットでは、2 本の電極を狭い間隔で配置し、放電回路を接続する。これらの電極から粉末を介して放電させる。大気中で放電させるため、装置が簡便になる。

放電により粉体層中を流れる電流密度が表面近くで高くなるので、その影響を受ける部分が表面に限定される。したがって、層全体の厚さに無関係に放電点近傍の表面近くの粉末だけが固化される。そのため、加工特性は製作する製品の形状に依存しない。また、固化されない部分の粉体は、固化された部分と同程度の密度を持つため、その上に固化された層を形成することができる。3 次元形状を形成した後は、固化していない粉末を容易に除去することができ、所望の 3 次元形状だけを残すことができるため、オーバーハング形状も形成できる。

金属粉末を用いた積層造形法で高精度化するためには、切削加工との複合加工が行われている。本手法では、電気的加工条件を切り替えて気中放電加工により同一加工機上不要部分を除去することができるので、オンマシン計測と併用すれば、高精度化が期待できる。

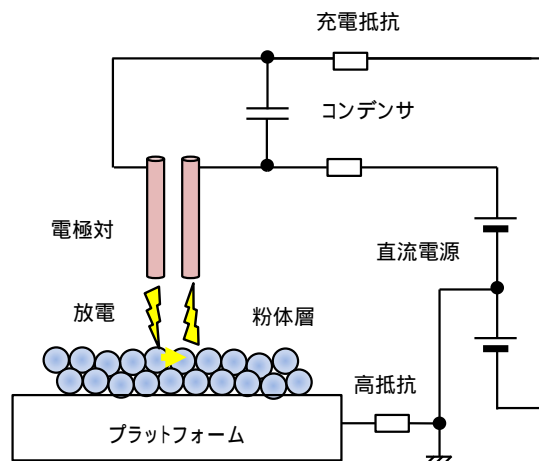


図 2 放電回路の構成

4. 研究成果

放電回路の構成を図 2 に示す。放電回路はコンデンサ回路とした。片側の電極をグランドとすると粉末が帯電して飛散しやすくなる。したがって、アルミニウム合金製のパウダーベッド (プラットフォーム) をグランドと高抵抗を介して接続して、放電が発生するまではグランド電位とすることで、粉末の電位が 0V になるようにした。放電が起こってもグランドへ電流が流れにくいように、接地抵抗を大きくした。実験条件を表 1 に示す。正負の電圧は等しく設定した。静電容量は実験的に決定した。電極対では、フッ素樹脂チューブで絶縁した直径 0.5mm の銅棒を中心間

隔 0.8 mm で固定した。実験には還元鉄粉を用いた。パウダーベッドを最下層のみ 0.4mm 厚さとし、それ以外は 0.2mm ずつ下げ、この鉄粉をへらで広げて均一の厚さにした。1 回放電するごとに電極を送った。今回は、マイクロメータ付きステージを用いてこれらの操作をすべて手動で行った。堆積後は、固化していない粉末を刷毛で除去した。

表 1 実験条件

電源電圧	± 150V
コンデンサ容量	0.5μF
充電抵抗	100kΩ × 2
接地抵抗	9.1MΩ
粉末	還元鉄粉，平均粒径約 200μm
電極	銅，直径 0.5mm，中心間隔 0.8mm
電極送りピッチ	XY 方向 0.5mm

電圧印加後放電するまでに正極側の鉄粉が飛散する現象が観察された。仕事関数は、アルミニウムよりも鉄の方が大きい。酸化膜を介して両者が接触した場合には、接触帯電により鉄が負に帯電する。これにより鉄粉が負に帯電して、静電力により正極側へ吸引されたと考えられる。

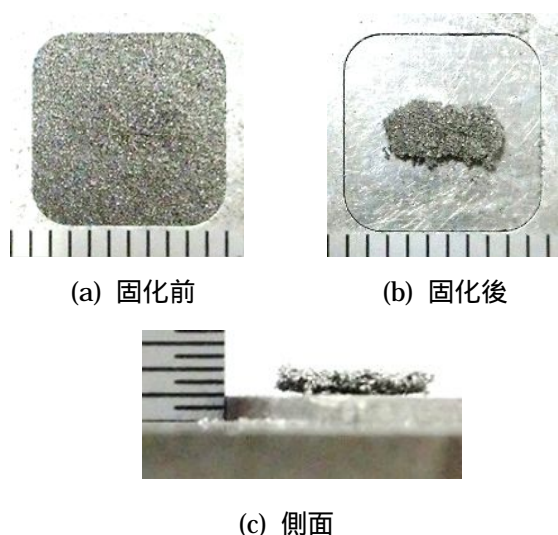
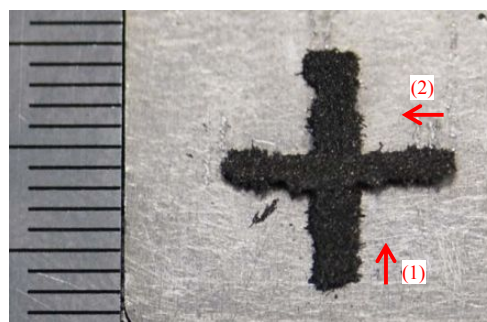


図 3 層状の堆積物

図 3 に 4mm 走査しながら 4 層積層した形状を示す。厚さはほぼ 1mm となった。放電により粉末の一部が飛散することがあり、それが電極に付着することもあった。粉末が接触している赤丸部分でも明らかな溶融部は観察

されなかったが、そのままの状態では形状が崩れることはなかった。



(a) 上面



(b) (1)方向から見た側面



(c) (2)方向から見た側面

図 4 オーバハング部を持つ堆積物

次に、同じく 4 層積層した上に直角方向に長い形状を 2 層積層した結果を図 4 に示す。高さが約 1.4mm のオーバハング形状を形成した。上の層を堆積する場合には電極の配置を変えず、走査方向だけを電極の並び方向とした。そのため幅が小さくなった。観察のためにパウダーベッドから外そうとしたところ壊れてしまった。放電時には溶融したと考えられる微粉が飛散しており、放電した粉末の温度は沸点以上に達していると考えられる。したがって、強固に固化するためには、溶融した粉末が残留する程度の放電エネルギーに設定する必要がある。

コンデンサ放電回路では、コンデンサへの充電時に鉄粉が帯電して飛散したり、放電エネルギーの調整が困難であることが明らかになった。そのため、高電圧重畳が可能な MOSFET による放電回路を新規に試作した。

ステッピングモータ駆動 XYZ ステージを用いて、XY 方向に放電位置を走査するとともに Z 軸方向の極間距離を調整した。電極消耗による長さのばらつきの補償は手動で行った。これまで、電極は中心間隔を 1mm 未満にして平行に配置していたが、電極間に粉末が付着して短絡することが多かった。そこで、直交するように配置して、先端部分だけ

が近接するようにした。

重畳する高電圧、実際の放電時の印加電圧、電流値、放電パルス幅、休止時間等を変化させて、粉末が熔融して結合した状態の堆積が起こりやすい条件を実験的に探索した。コンデンサ放電回路を用いていた場合には、ピーク電流が大きく、パルス幅が短いため、熔融して飛散する量が多く、いったん堆積した部分でも除去されることがあった。今回試作した回路では、電流値を低く抑えて放電の電力を低めに抑えることで放電により熔融して飛散する堆積物を減少させるとともに、コンデンサが放電するために十分な電圧まで充電されるまでに粉末に電界が印加されて飛散することを減少することができた。

<引用文献>

新野俊樹：Additive Manufacturing 現状と可能性，日本機械学会誌，Vol. 118，No. 1154，(2015)，pp. 12.-17.

榎原弘之：日本における Additive Manufacturing の概要とこれからの課題，計測と制御，Vol. 54，No. 6，(2015)，pp. 381-385.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計4件)

K. Furutani, T. Tsuchiya, H. Yamagishi: Fundamental Experiments of Additive Manufacturing Method by Selective Solidification Using Electircal Discharge, Charlotte, North Carolina, USA, pp. 543-546 (2017).

古谷克司，山岸宏規：放電を利用した金属粉末積層造形法における粉末挙動，平成29年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会講演論文集，名古屋市千種区，L5-6 (2017).

古谷克司，土屋昂敬，山岸宏規：選択的放電固化による積層造形法に関する基礎実験，電気加工技術，Vol. 40，No. 125，pp. 15-20 (2016).

古谷克司，土屋昂敬，山岸宏規：選択的放電固化による積層造形法(第1報)基礎実験，2015年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，仙台市青葉区，pp. 1-2 (2015).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<https://www.toyota-ti.ac.jp/Lab/Kikai/5k60/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

古谷 克司 (FURUTANI, Katsushi)

豊田工業大学・工学部・教授

研究者番号：00238685

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし