

積層造形法に基づく立体回路形成に関する研究

研究報告者 檎 原 弘 之



～プロフィール～

最 終 学 歴	昭和 62 年 3 月 東京大学大学院工学系研究科 精密機械工学専門課程 修士課程修了
専 門 分 野	生産技術分野
学 位	博 士 (工学)
所属団体名	国立大学法人九州工業大学 大学院情報工学研究院 機械情報工学研究系

今 後 の 抱 負

積層造形法は、最近では付加製造技術(AM 技術)や 3D プリンター技術として知られ、世界各国で注目されてきている技術です。

AM 技術は、従来の切削等による除去加工と異なり、材料を溶融接合する等の付加加工技術であります。また、材料開発や機械制御技術との連携が求められる技術でもあり、総合的な知識が要求される研究領域であります。

私自身は、長い間この分野の研究に携わってきており、これからも AM 技術の研究を進めると共に、型技術をさらに発展させる研究を推進していきます。また、これまでに得られた知見を生かして、日本の産業発展に寄与していきたいと考えています。

本研究は積層造形法で MID 部品の迅速試作実現を将来的な目標とし、本研究では導電性材料開発と提案技術を実現するための基礎実験装置構築を行った。本研究では、樹脂・はんだ混合材料の基礎実験を行い、導電性材料が可能であることを確認した。また、開発した基礎実験装置を用いて描画実験を行い、積層面上に描画可能であることを確認すると共に、今後の課題を明らかにした。

1. はじめに

Molded Interconnect Device (成形回路部品 : MID) とは、射出成形品の表面に立体的に直接電気回路を形成する技術である。MID は、機械構造部品と電気配線回路部品としての機能を共に有するハイブリッドな機能部品である。近年の電子機器の小型化に伴い、省スペース化、組み立て工数の削減などの要求を満足できる技術であるため、携帯機器など新製品への導入へ、ますます重要性が増している。

積層造形法とは、付加製造技術 (Additive Manufacturing : AM技術)

とも言われ、3次元CADで定義された3次元部品形状に対して、等間隔の厚みの輪郭形状を計算してスライスデータとする。このデータに基づいて数値制御により、数十 μm の厚みの断面形状となるように材料を薄く硬化させて、接着、積み重ねていく。この工程を繰り返すことで3次元の部品を実現する手法である。造形用のモデル材料と、犠牲層としてのサポート材料を成形することによって、複雑な立体形状でも、計算機データから直接型を用いずに製造することができる特長を有している。

MID は、①樹脂成形品、②三次元形状、③三次元回路、の三要素を基本とし、樹脂成形品表面に金属膜で回路形成したものと定義される。通常の MID (成形回路部品) 実現には多くの方法が考えられており、1つの金型を使う1回成形法と、2つ

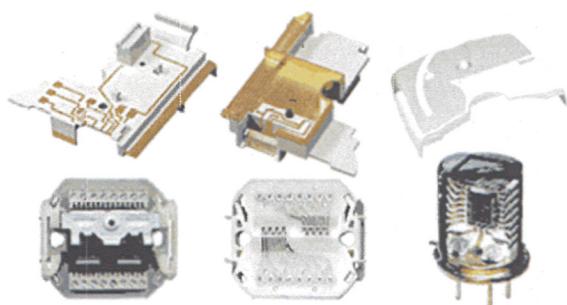


図 1 立体電気配線を有する MID の一例

(出典：日本MID協会 <http://www.jmid.gr.jp/>)

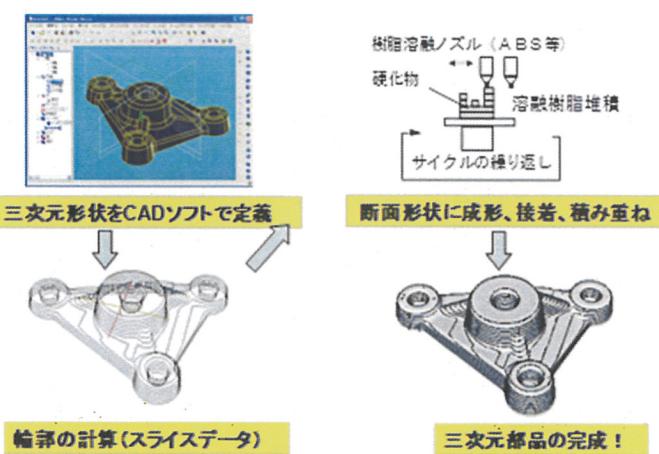


図 2 熱溶解式積層造形による AM の原理

の金型を使う2回成形法で大まかに分類できる。その後、エッチングなどの1次処理、めっきによる表面処理などの複数の工程を経て部品が完成する。MIDプロセスの利点と欠点を考えた場合、利点としては、小型、薄型化設計を可能にする(高密度実装)事が挙げられる。欠点としては、回路配線は部品表面のみ描画可能である事、多数のプロセスステップが必要、大型装置が必要となる。形状付与に金型が必要で、迅速な製品開発のボトルネックとなる事が挙げられる。

本研究では、部品の形状成形を積層造形技術で、3次元配線を導電性材料吐出ノズルの技術等を組み合わせてMIDのラピッドプロトタイピング技術の実現を最終的目標としている。提案するMID-RPプロセス(図3)の利点としては、形状付与は積層造形プロセスに基づくため、部品内部に配線可能となる。またMID部品の製造に小型の装置で十分となる。金型を必要としない。成形に必要な材料のみ消費するのでエコ成形が期待できる、などが挙げられる。MID-RPプロセスが実現すれば上記問題をすべて解決することが期待出来る。このために、まずは導電性材料と、非導電性材料についての検討・評価が必要となってくる。

本研究では導電性材料開発と提案技術を実現するための基礎実験装置構築を行う。本研究では、樹脂・はんだ混合材料の基礎実験を行い、導電性材料の評価を行う。また、開発した基礎実験装置を用いて積層面上での描画実験を行う。

2. 実験装置の概要

吐出ヘッドの構成を図4に示す。粉末供給部、樹脂供給部、加熱混合部より構成され、攪拌吐出モータによりロッドを回転させ、加熱混合部ではんだ粉末とplastic材料を混合吐出させる。実験装置の外観を図5に示す。

実験装置の構成を図6に示す。制御PCにより、粉末と樹脂吐出量、攪拌回転数、移動ステージを制御可能ないように構築している。

また、実験装置のソフトウェア構成としては、Arduino制御基板上にArduino言語でモータ制御サーボプログラムを作製している。PC上にProcessing言語で指令用UIプログラム

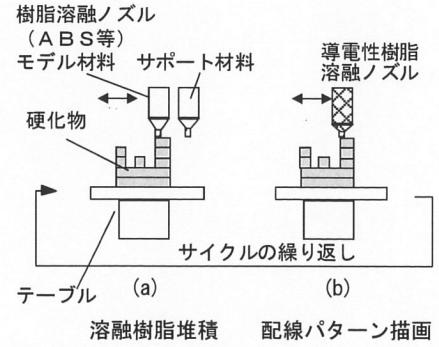


図3 熱溶解式積層造形によるMID-RPの原理

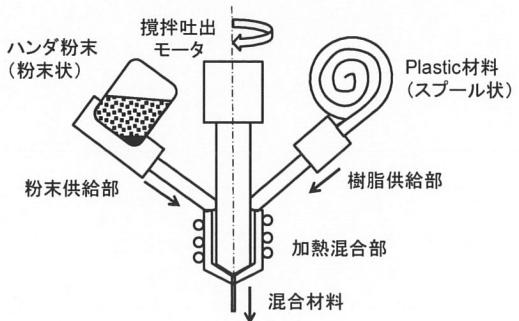


図4 吐出ヘッドの構成

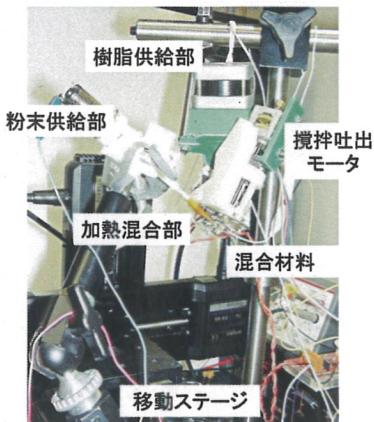


図 5 実験装置外観

を作製し Arduino との通信を実現している。XYZ 軸移動ステージについては、RS232C を介してコントローラに移動コマンドを送出している。テキストファイル上に移動指令コマンド列を保存することで描画を可能としている。

3. 実験装置の評価

まず、はんだ供給機構の評価を行った。図 7 にはんだ供給量の時間変化の実験結果を示す。

この結果から時間に比例して粉末供給が可能であることを確認した。このグラフの傾きより、はんだ粉末の供給速度を求め、モータ回転数とはんだ供給速度との関係

を図 8 に示す。開発した実験装置により、モータ回転数に比例した速度での粉末供給が可能となった。

次に樹脂・はんだ粉末の混合機能の評価を行った。吐出後の PLA 樹脂の顕微鏡写真を図 9 に示す。PLA のみの場合に

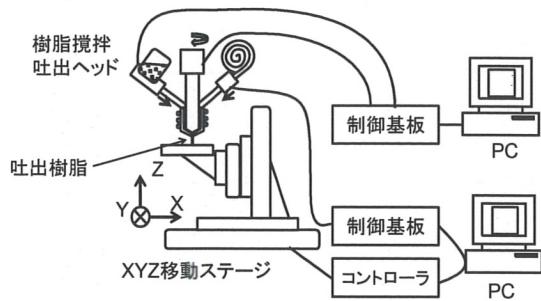


図 6 実験装置構成

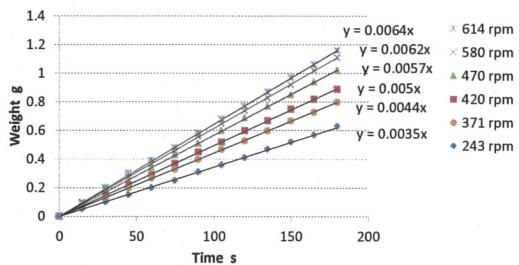


図 7 はんだ供給量の時間変化

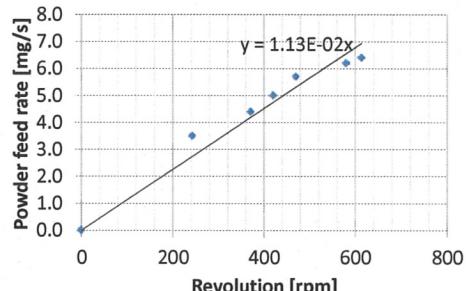


図 8 モータ回転数とはんだ供給速度の関係

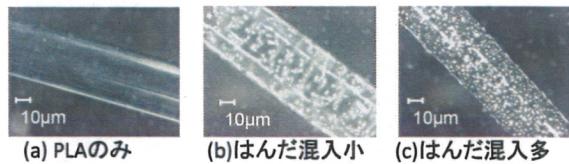


図 9 吐出後 PLA 樹脂の顕微鏡写真

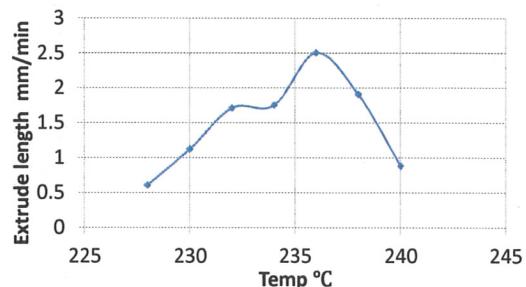


図 10 加熱温度と吐出速度結果

は、吐出された樹脂が透明な状態で観察されているが、はんだの供給量が増加するにつれて、樹脂内にはんだ粒子が分散して観察された。この装置により樹脂+金属粉末の混合が可能であることが判った。しかしさらにはんだ粒子を増加させると、線状に吐出されなくなった。

加熱温度吐出速度の関係を得るために、ABS樹脂・はんだ粉末 Sn3.5Ag0.5Cu の吐出特性を調べた。実験結果を図 10 に示す。236°Cで吐出速度のピークを示した。また 228°C未満、240°Cを超えると吐出が観察されなかった。

4. 導電性樹脂の基礎実験

導電性樹脂の樹脂とはんだ粉末の混合物の導電性を確認するために、別途攪拌機、攪拌棒を利用してはんだ粉末と ABS 樹脂を混合し、その導電性を調べた。金属製の混練容器を IH ヒータにより設定温度に加熱し、材料を投入後一定時間保持し材料温度を上げた後、10 分間混練する。最適な混練温度を明らかにするため、設定温度を変化させて導電性の比較を行った。

はんだ粉末 55vol%，銅粉末（分散助剤）10vol%，ABS 樹脂 35vol%で一定とし、設定温度を 160~220°Cの間で 10°Cずつ変化させ、材料を混練する。これを混練した材料を溶融して押し出すことで、FDM 装置で使用可能な直径 1.8mm のワイヤー状に加工する。作製したワイヤー状導電性樹脂の電気抵抗値を各試験片につき 30 回ずつ測定し、その平均値から電気抵抗率を算出する。

電気抵抗率の測定結果を図 11 に示す。

この結果より、銅粉末の添加量 5~15vol%において、若干低い電気抵抗率となった。ただし差は若干であり、0~30vol%の間でほとんど差はみられない結果となった。

5. 開発吐出ノズル実験

開発した連続混合吐出装置を用いて吐出と同時に描画実験を行った。描画実験結果の写

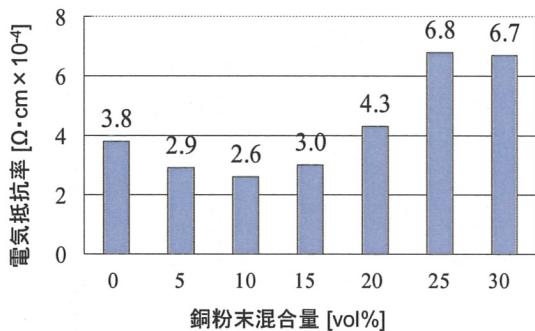


図 11 電気抵抗率測定結果

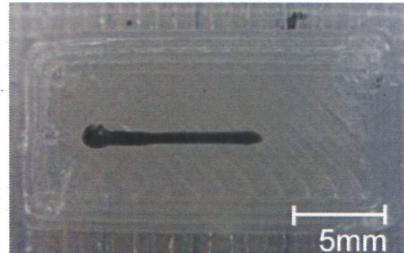


図 12 描画実験結果

真を図 12 に示す。樹脂土台上へ、吐出された樹脂により黒色の線状硬化物が形成されており、これより、ABS 樹脂とはんだ粉末の混合材料による描画可能であることを確認した。しかしながらこの描画ラインには導電性が確認できなかった。

6. 考察

連続混合吐出装置を用いた場合に導電性が確認されなかつた理由を調べるために、吐出ノズルの樹脂外観および切断面を顕微鏡で観察した。その顕微鏡写真を図 13 に示す。得られたワイヤー状吐出物を観察すると、外観は黒色となっており、また切断面は金属光沢が観察され、はんだ粒が分散していた。一方、混合装置を分解すると、加熱部内壁に付着したはんだ片が観察された。これらの観察結果に基づくと、半溶融した樹脂は粒子同士の接合に寄与せず、せん断力で加熱部内壁へと移動している可能性がある。今後、導電性が維持されるための樹脂とはんだ粒子との関係性を詳細に調べていく必要がある。

7. おわりに

本研究は積層造形法で MID 部品の迅速試作実現を将来的な目標とし、本研究では導電性材料開発と提案技術を実現するための基礎実験装置構築を行った。本研究では以下の研究を遂行し結論を得た。

1. はんだ供給機構の評価を行い、開発した装置で粉末供給が制御可能であることを確認した。
2. 樹脂・はんだ粉末混合機能の評価を行い、樹脂内にはんだ粒子が分散可能であることを確認した。
3. 樹脂・はんだ混合材料の基礎実験を行い、導電性材料が可能であることを確認した。
4. 開発した基礎実験装置を用いて描画実験を行い、積層面上に描画可能であることを確認した。

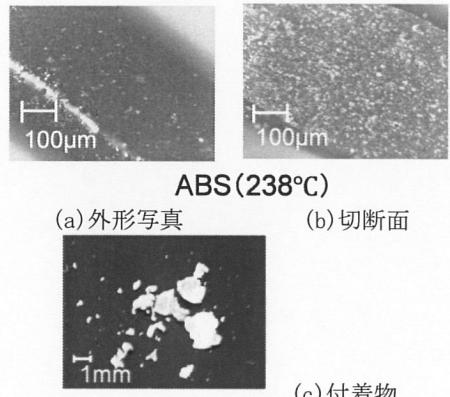


図 13 顕微鏡写真