

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03865

研究課題名(和文) 材料自由度が高く傾斜機能特性を持つ造形が可能な付加製造法に関する研究

研究課題名(英文) Study on additive manufacturing method with high degree of freedom of material and capability of creating functionally graded material

研究代表者

多田 達也 (Tada, Tatsuya)

茨城大学・理工学研究科(工学野)・准教授

研究者番号：40805214

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：付加製造技術において積層層の高さや造形幅をより高精度に制御するために、用いる造形材料やサポート材を10 μ m以下の微粒子にするにあたっては、一般に利用可能な機械式粉碎装置では微粒子作製が行える樹脂材は少ないことが分かり、種々樹脂の微粒子作製には、樹脂を溶融状態から粒子にさせていくビルドアップ方式の粒子作製装置の構築が必要であることが分かった。

また、微粒子化した樹脂粒子の多くは、電子写真のトナーと同様に摩擦帯電量の制御が可能で、電子写真技術の画像形成技術を応用し、傾斜機能特性発現のために必要な、複数の異種材粒子を平面内の任意の位置に並置配置して積層層を形成する技術の構築が可能であることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

造形材料やサポート材の微粒子化は付加製造技術の精度向上につながり、種々樹脂粒子の摩擦帯電量を制御する技術は積層層を電子写真の画像形成技術で作製することを可能とし、且つ、積層層形成において異種材料の配置位置の高精度制御を可能とし、傾斜機能特性を持った造形物の作製が可能な付加製造技術へとつながっていく。従って、研究成果で得た知見は、付加製造技術をプロダクトの革新技術に発展させていく基礎技術であるとともに、新たな物性特性を持つ材料の創成に対する基礎技術ともなっている。

研究成果の概要(英文)：As a means of improving the accuracy of the additive manufacturing technology, we investigated a method of making a plurality of resin materials into fine particles of 10 μ m or less. As a result, it was found that the mechanical pulverization method is not suitable as a method for producing fine particles of resin materials, and the build-up method, which is a method for producing fine particles from melted resin material, is suitable. As a result of examining the triboelectric characteristics of the resin fine particles with respect to the standardized carriers, it was found that most of them have the similar characteristics of electrophotographic toners. Therefore, it has been found that it is possible to form a laminate layer arranged different kinds of resin fine particles at arbitrary positions by applying electrophotographic technology.

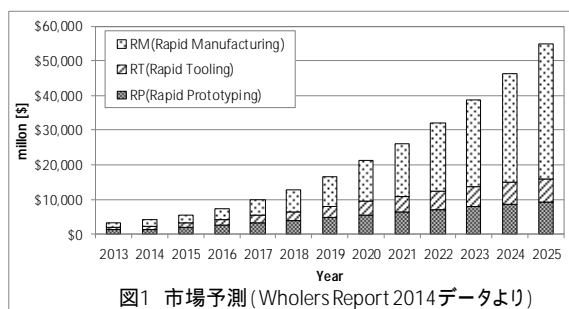
研究分野：応用物理学

キーワード：3D造形 熱可塑性樹脂粒子 摩擦帯電特性 異種材粒子並置配置 積層溶着 傾斜機能特性

1. 研究開始当初の背景

(1) 付加製造技術は、金型を用いる射出成型やダイカスト成型等の造形技術とは異なり、金型を必要としない造形技術であることから、金型作成が不要という簡便性と即応性、金型ではできない造形が可能という高機能性、造形時に材料のムダが出ないという省資源性等々の多くの利点を持っている。そのため、付加製造技術は、研究開発現場の RP(Rapid Prototyping)や RT(Rapid Tooling)の領域で活用され始め、ものづくりプロセスの革新技術になると期待されていた。

また、付加製造技術が更なる発展をし、金型成型と同じ造形材料を用いることができ、寸法精度等も金型成型での製品仕様を満たす造形物の作製も可能となれば、更には、金型成型では困難な造形物の任意の部分の造形材料の変更や、異種の造形材料の存在比の調整が可能で物性特性に傾斜機能特性をもつ造形物や材料の創成も可能となれば、RM(Rapid Manufacturing)の領域におけるプロダクトの製造技術の革新技術となり、その市場規模は図1に示す様に急激に伸びて非常に大きくなると予測されていた。



しかしながら、製品に求められる機械的強度や靱性

は用いる材料の特性に大きく依存するのにも関わらず、例えば光硬化方式の付加製造技術では、用いることのできる材料が光硬化樹脂に限定されるため材料自由度が低いという課題があった。また、射出成型と同じ材料を用いることが出来る FDM 方式(熱溶解積層方式)の場合には、積層造形物の機械的強度や靱性には等方性が無く、積層方向の機械的強度が弱くなるという課題があった。また、寸法精度に関しても最小積層造形ピッチが、熱可塑性樹脂材を用いることのできる方式のものでは 50 μ m 以上、材料が光硬化樹脂と限定されるがより高精度の造形が可能である光造形方式でも 10 μ m 以上と粗く、金型成型の製品仕様の寸法精度を求められるものに対しては、寸法精度が低く対応できないという課題を有していた。

(2) 上記課題を踏まえ、付加製造技術をプロダクトの革新技術に発展させていくためには、金型成型と同等の機械的物性特性を得ることのできる「材料自由度の拡大技術」と造形物の物理特性の等方性を得るために必要な「積層方向の機械的強度を低下させない技術」、そして金型成型並みの寸法精度を保証するために「最小積層造形ピッチを 1~2 桁小さくできる技術」等が必要とされていた。

また、付加製造技術の利点である、金型成型では困難な、複数の材料を混在させて積層造形を可能とする「マルチマテリアル対応で傾斜機能特性をもつ材料の創成を可能とする技術」が望まれており、その実現のために「積層造形幅の最小単位を数十 μ m 以下とすることが可能で、尚且つ、異種の造形材料の配置を高精度に制御することが可能な技術」と、「溶融特性や結合条件が異なる異種材料(例えば結晶性樹脂と非晶性樹脂)が複数混在していても積層造形を可能とする技術」が必要とされていた。

2. 研究の目的

(1) 本研究は、上記要求と課題を鑑み、「材料自由度が高く」且つ「傾斜機能特性を持つ材料の創成も可能」である新たな付加製造技術の構築することを目的としたものである。

具体的には、用いる造形材料やサポート材を 10 μ m 以下のサイズに微粒子化し、積層層の高さや幅を粒子サイズで制御する技術を用いることで最小積層造形ピッチや積層造形幅を小さく且つ高精度化し、「異なる物性を持つ複数の異種材料微粒子を 2 次元平面内の任意の位置に並置配置して積層層を形成し、その積層層を 3 次元方向に積層していく技術」の構築を目的としたものである。

また、その必要条件となる 種々材料の微粒子化技術、微粒子のハンドリングに必要な物理特性の制御技術、異種材粒子の並置配置技術、異種材粒子間の固着も可能とする 3 次元積層溶着技術に関する研究とその構築を目的としたものである。

(2) また上記付加製造技術によって得られる造形物において、物性の異なる各材料粒子の配置条件と発現する傾斜機能特性との相関関係を調べることを目的としたものである。

3. 研究の方法

構築する新たな付加製造技術の具体的な手法として、積層層の形成に関しては、図2に示す様に、サブ μ m から十数 μ m サイズの複数種の微粒子材を高精度に並置配置することができる電子写真技術等の粉体の画像形成技術を用いた手法を用いることとした。

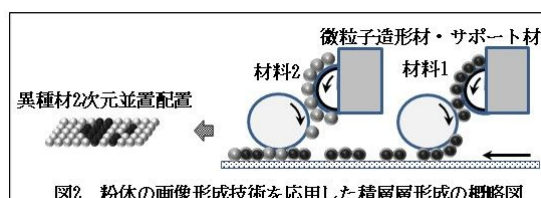


図2 粉体の画像形成技術を応用した積層層形成の概略図

また、3次元積層溶着の制御技術に関しては、図3に示す様に、熱溶融特性が異なる異種材料混在の積層層を積層層担持体と他の支持部材（積層造形物やその支持部材）等で挟み込んで保持し、その状態で熱溶融温度が最も高い材料の溶融温度以上に加熱して積層層全体を溶融化し、その後、固化温度が最も低い材料の固化温度以下まで冷却してから積層層担持体を外す方式として、異種材料混在の積層層の溶着制御を行うこととした。

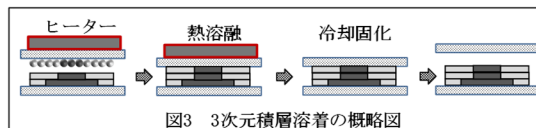


図3 3次元積層溶着の概略図

そして、上記方式において、用いる材料と積層層形成及び積層溶着の制御条件との関係がどのようになっているかを調べることで、目的とする付加製造技術の構築条件を明らかにしていくという研究方法とした。

また、図4に示す様に、物性の異なる各材料粒子の配置条件を変化させ、2つの材料を並べただけの複合材の造形物の物性値に対して、複数の材料が混在する部分の種々材料の存在比率や配置位置を変化させていった場合に造形物がどのような傾斜機能特性を示すかを調べることで、傾斜機能特性をもつ材料を得るための条件を明らかにしていくという研究方法とした。

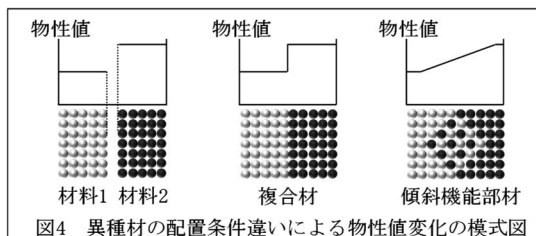


図4 異種材の配置条件違いによる物性値変化の模式図

4. 研究成果

(1)本研究においては、種々材料を10 μ m以下の微粒子として用いることを大前提としている。そのため、種々の樹脂材を入手し更に微粒子化することが必要であることから、入手可能な熱可塑性樹脂材料の調査と利用可能な微粒子化作製装置に関する調査を行い、樹脂材料に関しては多数の樹脂材料が入手可能であることを確認し、アクリロニトリルスチレン(AS)樹脂、アクリル(PMMA)樹脂、ABS樹脂、ポリアミド(PA)樹脂、ポリカーボネート(PC)樹脂、ポリプロピレン(PP)樹脂、ポリエチレン(PE)樹脂を入手した。また、微粒子化作製装置に関しては、物理的な衝撃力で固体からブレイクダウンしていく機械式粉碎法の装置が依頼利用可能であることを確認した。そこで第一段階として5種(AS樹脂、PMMA樹脂、ABS樹脂、PP樹脂、PC樹脂)の樹脂材料に関して、機械式粉碎法で10 μ m以下の微粒子作製が行えるかの検討を行った。その結果、AS樹脂とPMMA樹脂に関しては、衝突板タイプのジェットミル粉碎機の制御条件範囲内で10 μ mサイズの所望の粒子を作製できることが確認できた。しかしながら、他の樹脂に関しては、ジェットミル粉碎機とカッターミルの両方の機械式粉碎装置において微粒子作製が困難であることが分かり、その後の調査も含めて種々の樹脂粒子の作製には、樹脂溶融状態から固体化して粒子を作製していく方式による独自の装置を作り上げないといけないことが分かった。

そこで、本研究の微粒子化作製以降の検討に関しては、市場から入手できる樹脂微粒子があればそれらを手入して本研究を推し進めていくことにし、結果として、粉碎法で作製できたAS樹脂、PMMA樹脂の微粒子に加えて、市場からはPA樹脂、PP樹脂、PE樹脂の微粒子を検討用として入手することができた。

(2)本研究の積層層の作製においては、電子写真方式で用いられる粉体の摩擦帯電を利用した微粒子のハンドリング技術を用いる。そこで、作製及び入手した5種類の熱可塑性樹脂粒子が、電子写真のトナー粉体と同じように摩擦帯電量の制御が可能な摩擦帯電特性を有しているかについて検討を行った。

まず、第一段階として、樹脂粉体の摩擦帯電量測定を行うために、日本画像学会標準トナー帯電量測定法(ブローオフ法)に準拠した測定を行うことが可能な、吸引気流分離方式のブローオフ法の帯電量測定装置を構築した。

次に、入手した樹脂粉体の摩擦帯電特性がトナーと比較してどのような摩擦帯電特性を示すかの確認検討を行った。摩擦帯電特性の評価方法としては、帯電特性が制御された数種の摩擦帯電部材(日本画像学会の4種の標準キャリア)に対し入手した樹脂粉体はどのような摩擦帯電特性を示すかを構築した帯電量測定装置で計測し、その比較評価を行った。その結果、4種(AS、PMMA、PA、PE)の樹脂粒子は、帯電特性の調整がなされたトナーと同様に、上記標準キャリアの摩擦帯電列にほぼ対応する形の摩擦帯電量の変化特性を示すことが確認できた。この結果から、摩擦帯電部材を選択することで樹脂粉体の帯電量値が制御可能であることが分かり、樹脂粉体に帯電粒子のハンドリング技術が適用できることが分かった。また、PP樹脂粉体は上記標準キャリアの摩擦帯電列に対応しない帯電特性を示し、且つ帯電量も低いという帯電特性を示したが、粒子表面に帯電性の高いシリカ等の帯電制御部材を付加すれば樹脂粒子の帯電荷量が調整できることを確認した。

従って、造形物の物性特性に影響を与えない範囲で、樹脂粉体の表面の帯電特性を調整することが可能であれば、用いることのできる樹脂材料の自由度は更にあげられることが分かった。

(3)3次元積層溶着技術に関する検討に関しては、最初のステップとして単一樹脂粒子の粉体層及び異種の熱可塑性樹脂が混在した粉体層の熱溶融シート化に対する技術コンセプトの確認検討を行い、粉体層を挟み込んだ状態で熱溶融しそのまま徐冷を行うことでシート化が行えることを確認した。

(4) 付加製造技術によって得られる造形物の物性評価に関して、金型成型部材との比較や造形材料特性との相関が分かる評価方法が必要であったことから、評価項目とすべき材料の特性やその評価法に関して調査を行い、成形材に求められる物性としては、強度（曲げ弾性率等で評価）

靱性（アイゾットやシャルピー衝撃試験等で評価）耐熱性（荷重たわみ温度等で評価）耐水性（吸水量の逆数等で評価）摺動性（動摩擦係数の逆数等で評価）耐薬品性（耐有機溶剤性等で評価）を評価項目とし、且つ、その経時依存性も含めて比較するのが良いということが分かった。

また、図5に示す様に、上記6つの評価項目をレーダーチャートにして比較すると、各材料の特性が把握しやすいことが分かった。

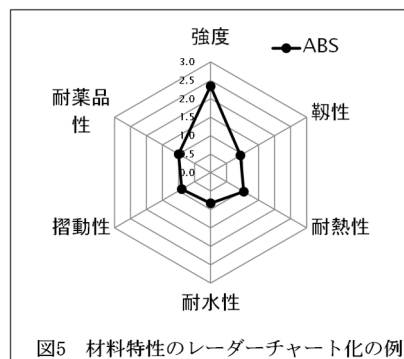


図5 材料特性のレーダーチャート化の例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 上原利夫、多田達也
2. 発表標題 種々粉体の摩擦帯電特性と帯電状態の比較評価
3. 学会等名 粉体工学会 2019年度秋期研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 多田達也、上原利夫
2. 発表標題 標準キャリアを用いた種々粉体の帯電特性比較
3. 学会等名 日本画像学会 2019年度 第4回技術研究会(通算第144回)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------