

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-7584

(P2020-7584A)

(43) 公開日 令和2年1月16日(2020.1.16)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
B 2 2 F 3/16 (2006.01)	B 2 2 F 3/16	4 F 2 1 3
B 2 9 C 64/153 (2017.01)	B 2 9 C 64/153	4 K O 1 8
B 2 9 C 64/314 (2017.01)	B 2 9 C 64/314	
B 3 3 Y 10/00 (2015.01)	B 3 3 Y 10/00	
B 3 3 Y 70/00 (2020.01)	B 3 3 Y 70/00	
審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 18 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2018-127410 (P2018-127410)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成30年7月4日 (2018.7.4)		キヤノン株式会社
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
		(74) 代理人	110002860
			特許業務法人秀和特許事務所
		(74) 代理人	100131392
			弁理士 丹羽 武司
		(74) 代理人	100125357
			弁理士 中村 剛
		(74) 代理人	100131532
			弁理士 坂井 浩一郎
		(74) 代理人	100155871
			弁理士 森廣 亮太
		(74) 代理人	100100549
			弁理士 川口 嘉之
		最終頁に続く	

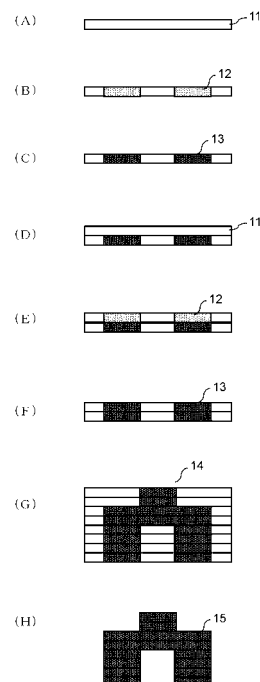
(54) 【発明の名称】造形方法及び造形装置

(57) 【要約】

【課題】造形時の造形物の変形、破損を抑制することができ、より形状自由度の高い造形技術を提供する。

【解決手段】第一の粉末を用いて粉末層を形成する形成工程と、前記粉末層の一部の領域に、前記第一の粉末よりも平均粒子径が小さい第二の粉末を配置する配置工程と、前記第二の粉末に含まれる粒子どうしが焼結または溶融する温度で、前記第二の粉末が配置された前記粉末層を加熱する第一の加熱工程と、を含み、前記第一の加熱工程後における、前記一部の領域の前記粉末層の圧縮強度をP1、前記一部の領域外の前記第一の粉末の圧縮強度をP2としたとき、 $P1 \geq 0.5 \text{ MPa} > P2$ の関係が成り立つ。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第一の粉末を用いて粉末層を形成する形成工程と、
 前記粉末層の一部の領域に、前記第一の粉末よりも平均粒子径が小さい第二の粉末を配置する配置工程と、
 前記第二の粉末に含まれる粒子どうしが焼結または溶融する温度で、前記第二の粉末が配置された前記粉末層を加熱する第一の加熱工程と、
 を含み、
 前記第一の加熱工程後における、前記一部の領域の前記粉末層の圧縮強度を P_1 、前記一部の領域外の前記第一の粉末の圧縮強度を P_2 としたとき、

$$P_1 \geq 0.5 \text{ MPa} > P_2$$

 の関係が成り立つ
 ことを特徴とする造形方法。

【請求項 2】

前記第一の粉末の平均粒子径は、 $1 \mu\text{m}$ 以上、 $500 \mu\text{m}$ 以下である
 ことを特徴とする請求項 1 に記載の造形方法。

【請求項 3】

前記第二の粉末の平均粒子径は、 1 nm 以上、 200 nm 以下である
 ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の造形方法。

【請求項 4】

前記第二の粉末を構成する粒子は、前記第一の粉末を構成する粒子よりも融点が高い
 ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の造形方法。

【請求項 5】

前記第一の加熱工程の後に、前記一部の領域外の前記第一の粉末を取り除く除去工程と、
 前記除去工程により得られた前記一部の領域の前記粉末層を加熱する第二の加熱工程と、
 をさらに含む
 ことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の造形方法。

【請求項 6】

前記第一の加熱工程における加熱温度を T_1 、前記第二の加熱工程における加熱温度を T_2 としたとき、

$$T_2 > T_1$$

 であることを特徴とする請求項 5 に記載の造形方法。

【請求項 7】

前記形成工程と前記配置工程のあいだに、前記粉末層を加圧する工程をさらに含む
 ことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の造形方法。

【請求項 8】

第一の粉末を用いて粉末層を形成する形成手段と、
 前記粉末層の一部の領域に、前記第一の粉末よりも平均粒子径が小さい第二の粉末を配置する配置手段と、
 前記第二の粉末に含まれる粒子どうしが焼結または溶融する温度で、前記第二の粉末が配置された前記粉末層を加熱する加熱手段と、
 を有し、
 前記加熱手段は、
 加熱後における、前記一部の領域の前記粉末層の圧縮強度を P_1 、前記一部の領域外の前記第一の粉末の圧縮強度を P_2 としたとき、

$$P_1 \geq 0.5 \text{ MPa} > P_2$$

 の関係が成り立つように前記粉末層を加熱する
 ことを特徴とする造形装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、粒子状の材料を用いて立体物を造形する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

立体物を造形する方法として、造形対象物である立体物モデルのスライスデータに従って造形材料を積層する積層造形法が注目されている。従来は樹脂材料を用いた造形が主流であったが、最近では、金属やセラミックスなど、樹脂以外の造形材料を用いた造形を行う装置も増えてきている。

10

【0003】

特許文献1では、基板上に粉末材料の薄層を形成した後にレーザで局所的に高温加熱を行い、粉末材料を焼結する、という工程を繰り返すことで造形物を得る方法が開示されている。特許文献1の手法では、オーバーハング構造や可動部のある構造など、粉末材料が焼結されていない領域（以下「非造形部」とよぶ）の上に構造体を形成する場合、非造形部の上部に存在する粉末材料を焼結しなければならない。その際の局所的な熱収縮により反りが発生することがあるため、構造体の形状によっては、反りを抑制するサポート体（サポート構造とも称す）を付加して造形する必要がある。サポート体は、本来不要な構造であるため、立体物モデルの形状次第では、造形後に除去が必要となる場合があるため、サポート体の除去が困難な形状ないし構造をもつ立体物モデルは造形が困難である。特に、金属の造形物からサポート体を除去する際には金属加工機を用いる必要があるため、金属加工機による除去が物理的に困難な微細構造は造形することができなかった。また、セラミックスは負荷により破損しやすいため、セラミックスの造形物から選択的にサポート体を除去することは困難であった。

20

【0004】

また、金属又はセラミックスなどの粒子と樹脂バインダーとの混合材料を用いて造形物の形状を作製した後に、樹脂を除去（脱脂）し焼結することで、金属又はセラミックスの造形物を得る手法が知られている。特許文献2では、金属粒子含有層に液状結合剤を塗布して固化する工程を繰り返した後に、固化していない領域を取り除くことで、樹脂と金属粒子の複合造形物を作製する手法が開示されている。得られた複合造形物を、熱処理により脱脂、焼結することで金属造形物を得ている。

30

【0005】

特許文献2の方法では、オーバーハング構造や可動部のある構造などを有する形状を作製する場合、結合剤を塗布していない粉末（固化していない粉末）をサポート体の代わりとして造形している。しかし、サポート体代わりの粉末は、脱脂及び焼結の前に除去しなければならないため、脱脂後に形状を維持できず、変形、破損することがある。また、造形物中に厚さが異なる造形形状が混在する場合には、厚い箇所での脱脂が不十分だと造形物中の不純物が増え、厚い箇所の脱脂を十分にすると薄い部分が変形、破損することがある。したがって、特許文献2の造形方法では、造形可能な形状、サイズに制限があった。とはいえ、形状維持のためにサポート体代わりの粉末を除去しないで熱処理を行うと、非造形部の金属粒子が造形部の金属粒子に合一してしまい、求める形状が得られない可能性がある。

40

【0006】

また、樹脂と金属の複合造形物の形状は樹脂成分によって維持されるが、樹脂成分が多いと脱脂時の変形や破損、形成した造形物中の空隙の原因となる。一方で、樹脂成分が少ないと樹脂と金属の複合造形物の強度が弱くなるため、非造形部の粒子を取り除く際に造形物が破損することがある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

50

【特許文献 1】特開 2 0 1 5 - 3 8 2 3 7 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 1 5 - 2 0 5 4 8 5 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上述したように、従来の造形方法では造形可能な形状に制限がある。特に金属やセラミックスなどの造形材料を用いる方法では、所望の物性あるいは形状が造形できるとは言い難い状況である。

本発明は上記したような事情に鑑みてなされたものであり、造形時の造形物の変形、破損を抑制することができ、より形状自由度の高い造形技術を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の第一態様は、

第一の粉末を用いて粉末層を形成する形成工程と、

前記粉末層の一部の領域に、前記第一の粉末よりも平均粒子径が小さい第二の粉末を配置する配置工程と、

前記第二の粉末に含まれる粒子どうしが焼結または溶融する温度で、前記第二の粉末が配置された前記粉末層を加熱する第一の加熱工程と、

を含み、

前記第一の加熱工程後における、前記一部の領域の前記粉末層の圧縮強度を P_1 、前記一部の領域外の前記第一の粉末の圧縮強度を P_2 としたとき、

20

$$P_1 \geq 0.5 \text{ MPa} > P_2$$

の関係が成り立つ

ことを特徴とする造形方法を提供する。

【0010】

本発明の第二態様は、

第一の粉末を用いて粉末層を形成する形成手段と、

前記粉末層の一部の領域に、前記第一の粉末よりも平均粒子径が小さい第二の粉末を配置する配置手段と、

前記第二の粉末に含まれる粒子どうしが焼結または溶融する温度で、前記第二の粉末が配置された前記粉末層を加熱する加熱手段と、

30

を有し、

前記加熱手段は、

加熱後における、前記一部の領域の前記粉末層の圧縮強度を P_1 、前記一部の領域外の前記第一の粉末の圧縮強度を P_2 としたとき、

$$P_1 \geq 0.5 \text{ MPa} > P_2$$

の関係が成り立つように前記粉末層を加熱する

ことを特徴とする造形装置を提供する。

【発明の効果】

【0011】

40

本発明によれば、造形時の造形物の変形、破損を抑制することができ、より形状自由度の高い造形技術を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図 1】実施形態の造形方法を模式的に示す図

【図 2】実施形態の造形方法を模式的に示す図

【図 3】実施形態の造形方法における粉末層の構造を模式的に示す図

【図 4】実施例に係る造形装置を模式的に示す図

【図 5】実施例の圧縮強度実験を行ったときの評価結果を表す図

【図 6】実施例の圧縮強度試験に用いる測定装置を模式的に示す図

50

【図 7】実施例の圧縮強度試験の試験結果の一例を表す図

【図 8】焼結温度と焼結時間と圧縮強度の関係を表す図

【図 9】造形物又は非造形部が容易には解砕できない温度と時間の閾値を表す図

【発明を実施するための形態】

【0013】

本発明は、粒子状の材料を用いて立体的な造形物を作製するための造形方法に関する。本発明の方法は、アディティブマニファクチャリング（AM）システム、三次元プリンタ、ラピッドプロトタイピングシステムなどと呼ばれる造形装置における造形プロセスに好ましく利用可能である。

以下、本発明の好ましい実施形態及び実施例を示して、本発明を詳細に説明する。各図面において、同一部材あるいは対応する部材を示す箇所には、同一の符号を付与している。特に図示あるいは記述をしない構成や工程には、当該技術分野の周知技術又は公知技術を適用することが可能である。また、重複する説明は省略する場合がある。

【0014】

（造形方法）

本発明の実施形態に係る造形方法は、概略、下記の（工程 1）～（工程 4）を有する。

（工程 1）第一の粒子を用いて粉末層を形成する工程

（工程 2）粉末層のうちの造形部に、第二の粒子を付与する工程

（工程 3）第二の粒子を焼結し、造形部内の第一の粒子どうしを固定する工程

（工程 4）造形部外の第一の粒子を取り除く工程

上記の（工程 1）～（工程 4）を行うことにより、粉末層 1 層分の厚みを有するシート状（又は板状）の造形物を形成することができる。さらに、上記の（工程 1）～（工程 2）を繰り返して多数の粉末層を積層することで、3 次元的な造形物を形成することができる。

【0015】

（各工程の説明）

以下、図 1 A～図 1 H、図 2 A～図 2 G、図 3 を用いて、造形方法の各工程について説明する。図 1 A～図 1 H、図 2 A～図 2 G は、本実施形態の造形方法の流れを模式的に示している。図 1 A～図 1 H は（工程 1）～（工程 3）を複数回繰り返したのち（工程 4）を実行するシーケンスの例、図 2 A～図 2 G は（工程 1）と（工程 2）を交互に複数回繰り返したのち（工程 3）と（工程 4）を実行するシーケンスの例である。図 3 は粉末層の構造を模式的に示す拡大図である。

【0016】

なお、造形を開始する前に、造形装置又は外部装置（例えばパーソナルコンピュータなど）によって、造形対象物の 3 次元形状データから、各層を形成するためのスライスデータが生成されているものとする。3 次元形状データとしては、3 次元 CAD、3 次元モデラー、3 次元スキャナなどで作成されたデータを用いることができ、例えば、STL ファイルなどを好ましく利用できる。スライスデータは、造形対象物の 3 次元形状を所定の間隔（厚み）でスライスして得られるデータであり、断面の形状、層の厚み、材料の配置などの情報を含むデータである。層の厚みは造形精度に影響するため、要求される造形精度や造形に用いる粒子の粒子径に応じて層の厚みを決めると良い。

【0017】

（工程 1）第一の粉末を用いて粉末層を形成する工程

本工程では、造形対象物のスライスデータに基づき、第一の粒子 1 を含む第一の粉末を用いて粉末層 1 1 が形成される（図 1 A、図 2 A）。本明細書では、複数の粒子の集合体を「粉末」と称し、粉末を所定の厚さに均したものを「粉末層」と称し、複数の粉末層を積層したものを「積層体」と称す。本工程の段階では、粉末層 1 1 を構成する個々の粒子は固定されていないが、粒子間に作用する摩擦力により粉末層 1 1 の形態は保持される。

【0018】

粉末層 11 を形成する第一の粉末を構成する第一の粒子 1 としては、例えば、金属粒子、セラミックス粒子などを使用することができる。具体的には、第一の粒子 1 として使用可能な金属として、例えば、銅、錫、鉛、金、銀、白金、パラジウム、イリジウム、チタン、タンタル、鉄などが挙げられる。また、ステンレス合金、チタン合金、コバルト合金、アルミニウム合金、マグネシウム合金、鉄合金、ニッケル合金、クロム合金、シリコン合金、ジルコニウム合金などの金属合金を、第一の粒子 1 として用いてもよい。また、炭素鋼など金属に炭素などの非金属元素を添加したものを、第一の粒子 1 として用いてもよい。

【0019】

また、第一の粒子 1 としては、酸化物セラミックスを用いてもよいし、非酸化物セラミックスを用いてもよい。酸化物セラミックスとしては、例えば、シリカ、アルミナ、ジルコニア、チタニア、マグネシア、酸化セリウム、酸化亜鉛、酸化スズ、酸化ウラン、チタン酸バリウム、バリウムヘキサフェライト、ムライトなどの金属酸化物が挙げられる。非酸化物セラミックスとしては、窒化ケイ素、窒化チタン、窒化アルミニウム、炭化ケイ素、炭化チタン、炭化タングステン、炭化ホウ素、ホウ化チタン、ホウ化ジルコニウム、ホウ化ランタン、モリブデンシリサイド、鉄シリサイド、バリウムシリサイドなどが挙げられる。第一の粒子 1 は、複数種類の金属の複合粒子や、複数種類のセラミックスの複合粒子であってもよい。

【0020】

第一の粉末の平均粒子径は、粉末層 11 を良好に形成するために、凝集が起こらない程度の寸法にすることが好ましい。具体的には、第一の粒子 1 の体積基準の平均粒子径が、 $1\ \mu\text{m}$ 以上、 $500\ \mu\text{m}$ 以下の範囲から選択されるとよく、好ましくは、 $1\ \mu\text{m}$ 以上、 $100\ \mu\text{m}$ 以下の範囲から選択されるとよい。平均粒子径が $1\ \mu\text{m}$ 以上であることで、粉末層形成時の粒子の凝集が抑えられ、欠陥の少ない層形成が容易になり、また平均粒子径が $100\ \mu\text{m}$ 以下であることで粉末層に含まれる空隙の大きさが小さくなり、焼結工程において強度を発現しやすくなる。第一の粉末の平均粒子径が $500\ \mu\text{m}$ より大きいと、造形物の表面が粗くなってしまい、高精度な造形物を造形できないことが懸念される。

平均粒子径の測定はレーザ回折／散乱式粒子径分布測定装置 LA-950 (HORIBA 社製) を用いて乾式で測定した。サンプリングは、透過率が 95%～99% の範囲とし、データ取り込み回数は 10000 回とした。得られた測定結果から、体積基準の平均粒子径を算出することができる。

【0021】

粉末層 11 の形成は、例えば、特開平 8-281807 号公報に開示されているように、上方開口したコンテナと、コンテナの内部に設定された昇降可能な支持体と、ワイパーを備えた材料供給装置とを用いて形成することができる。具体的には、支持体の上面がコンテナの上縁より一層の厚さ分だけ下方となる位置に調整し、材料供給装置により平板上に材料を供給した後、ワイパーによって平坦化することにより 1 層分の粉末層 11 を形成することができる。あるいは、平面（ステージ又は作製中の造形物の表面）上に第一の粉末を供給し、層厚規制手段（例えばブレードなど）で粉末の表面を均すことにより、所望の厚さの粉末層 11 を形成してもよい。さらに、加圧手段（例えば加圧ローラ、加圧板など）で粉末層 11 を加圧してもよい。加圧することによって粒子間の接触点数が増加することで、造形物の欠陥が形成されにくくなる傾向にある。また、粉末層中の第一の粒子 1 が緻密に存在することで、後段の（工程 2）及び（工程 3）の処理中に第一の粒子 1 が動くこと（粉末層 11 の形態が崩れること）が抑制され、形状精度の高い造形物を作製することができる。

【0022】

（工程 2）粉末層のうちの造形部に、第二の粉末を配置する工程

本工程では、造形対象物のスライスデータに基づき、付与装置によって粉末層 11 のうちの造形部 S に、第二の粒子 2 を含み、平均粒子径が $1\ \text{nm}$ 以上、 $500\ \text{nm}$ 以下の第二の粉末を付与する（図 1 B、図 2 B）。付与装置は気流によって第二の粉末を塗布する方

法でも良いし、第二の粉末を分散した液体12を塗布する方法であっても良いが、後述するように液体の場合は第一の粒子1どうしの接触部に第二の粒子2を集積させられるメリットがある。ここで「造形部S」とは、造形対象物の断面に対応する領域（つまり、粉末層11のうち粉末を固めて造形物として取り出すべき部分、粉末層の一部の領域）をさす。なお、造形部S以外の領域（つまり、最終的には粉末が除去されるべき部分、粉末層の一部の領域外の領域）は「非造形部N」と呼ぶ。

【0023】

第二の粉末は、少なくとも、第一の粉末よりも低い温度及び／又は短い時間で焼結および溶融が可能な粉末である。これは、次のように換言できる。第一の粉末と第二の粉末の混合粉末を加熱する場合、第一の粉末を構成する少なくとも一部の第一の粒子1どうしは焼結（当然ながら溶融も）せず、第二の粉末を構成する第二の粒子2どうしが焼結または溶融する、加熱条件（温度や時間など）が設定できる。また、第一の粉末と第二の粉末の混合粉末を加熱する場合、第一の粒子1どうしは容易に解砕可能であり、第二の粒子2どうしが焼結して容易には解砕しない、という加熱条件が設定できるように、第二の粒子2が選択されているということもできる。

ここで「焼結」とは、粒子どうしが接触する状態で粉末を融点以下の温度で加熱し、粒子どうしを固定（結合）させる処理をいう。また、「焼結せず」とは、粒子どうしが、固定していない状態、および、弱い力で固定されており、弱い力で固定されている粒子間の境界が電子顕微鏡で確認できる状態を含む。

【0024】

詳しくは後述するが、本実施形態の造形方法は、次のような特徴を有する。すなわち、第二の粉末に含まれる粒子どうしが焼結または溶融する温度で加熱することで、第二の粒子2によって造形部S内の第一の粒子1どうしを固定した後に、非造形部N内の第一の粉末を取り除くという点に特徴を有する。

【0025】

平均粒子径が1nm以上、500nm以下の第二の粒子2を含む第二の粉末を用いることは、第二の粉末の焼結または溶融開始温度を第一の粉末の焼結開始温度に比べて十分に小さくする効果がある。これは粒子径が小さくなることで、粒子同士が接触している状態での自由エネルギーが高くなるためである（粒子サイズ効果）。

第二の粉末に含まれる第二の粒子2の平均粒子径は、更に好ましくは1nm以上、200nm以下である。以下、第二の粒子2をナノ粒子2と呼ぶ場合がある。

第二の粒子2の平均粒子径が200nm以下であることで、焼結温度が低下するだけでなく、液体12（以下、ナノ粒子分散液と呼ぶ場合がある）中でのナノ粒子2の分散性が良くなり、液体12を付与する際の均一性が向上するため好ましい。

ナノ粒子2の平均粒子径は第一の粒子1の平均粒子径よりも小さい。これにより、ナノ粒子2が第一の粒子1の間隙に充填され、ナノ粒子2による第一の粒子1どうしの固定が図られやすくなる。

ナノ粒子2の平均粒子径は、液体付与時にナノ粒子2が第一の粒子1の間隙に容易に入り込むことができる程度のサイズに設定するとよい。

【0026】

ナノ粒子2としては、金属粒子、セラミックス粒子などを使用することができる。ナノ粒子2として使用可能な金属としては、例えば、銅、錫、鉛、金、銀、白金、パラジウム、イリジウム、チタン、タンタル、鉄などが挙げられる。また、ステンレス合金、チタン合金、コバルト合金、アルミニウム合金、マグネシウム合金、鉄合金、ニッケル合金、クロム合金、シリコン合金、ジルコニウム合金などの金属合金を、ナノ粒子2として用いてもよい。

また、炭素鋼など金属に炭素などの非金属元素を添加したものを、ナノ粒子2として用いてもよい。

また、ナノ粒子2としては、酸化物セラミックスを用いてもよいし、非酸化物セラミックスを用いてもよい。酸化物セラミックスとしては、例えば、シリカ、アルミナ、ジルコ

10

20

30

40

50

ニア、チタニア、マグネシア、酸化セリウム、酸化亜鉛、酸化スズ、酸化ウラン、チタン酸バリウム、バリウムヘキサフェライト、ムライトなどの金属酸化物が挙げられる。非酸化物セラミックスとしては、窒化ケイ素、窒化チタン、窒化アルミニウム、炭化ケイ素、炭化チタン、炭化タングステン、炭化ホウ素、ホウ化チタン、ホウ化ジルコニウム、ホウ化ランタン、モリブデンシリサイド、鉄シリサイド、バリウムシリサイドなどが挙げられる。ナノ粒子2は、複数種類の金属の複合粒子や、複数種類のセラミックスの複合粒子であってもよい。

【0027】

ナノ粒子2は、第一の粒子1と少なくとも一種類の同じ成分を含有することが好ましい。同じ成分を含有することで、ナノ粒子2の焼結時にナノ粒子2表面と第一の粒子1表面とが結合しやすくなり、強固に第一の粒子1を固定することができる。さらには、ナノ粒子2が、第一の粒子1に含有されている成分を主成分として構成されているとより好ましい。最終的な造形物は第一の粒子1とナノ粒子2の混合物になるところ、ナノ粒子2が第一の粒子1と同じ成分（材料）で構成されていれば、造形物内の不純物の量が少なくなり、造形物の材質が均質化されるので、造形物の強度や品質を向上することができる。例えば、第一の粒子1が鉄を含有するステンレス合金である場合、ナノ粒子2としては鉄粒子や酸化鉄粒子などを好適に使用できる。

【0028】

液体12を粉末層11に付与する工程と後述する（工程3）のあいだに、液体12を乾燥させる工程を設けても良い。さらに液体12を乾燥させる工程は、1層ごとに行うのが好ましい。乾燥が進むにつれて徐々に濃縮される液体12が、その表面張力によって、第一の粒子1間の粒界に集まる。液体中のナノ粒子2は液体12の動きに伴い、選択的に第一の粒子1間の粒界に集まり、凝集する。乾燥工程の結果として、第一の粒子1の粒界にナノ粒子2が集積することによって後述するナノ粒子2の焼結時に第一の粒子1を効率的にかつ強固に固定することができる。液体を乾燥する際には、液体12の濃度や量などに応じて最適な温度、時間などの乾燥条件を選ぶとよい。

【0029】

また、液体12の均一性を増すために、溶媒を添加してもよい。具体的な溶媒として水溶媒、有機溶媒若しくは水溶媒と有機溶媒の混合溶媒を用いることができる。水溶媒としては、純水等を用いることができる。また、有機溶媒としては、メタノールやエタノール等のアルコール、メチルエチルケトン、アセトン、アセチルアセトン等のケトン、ヘキサン、シクロヘキサン等の炭化水素等が用いられる。液体12に溶媒を添加すると、乾燥時に適切な速度で溶媒の蒸発が行われるため、ナノ粒子2の分散ムラが発生しにくい傾向にある。

【0030】

液体12中のナノ粒子2の分散性を制御するために添加剤を適宜添加することもできる。液体12は、必要に応じて顔料などの機能性物質を含んでもよい。

また、液体12は、粒子を固定するための結合剤を含んでもよい。結合剤としては既存の物質が使用可能であるが、後述する（工程3）の加熱処理により分解される物質、即ち、ナノ粒子が焼結する温度または溶融する温度よりも低い分解温度を有する物質が好ましい。加熱により分解されることで、（工程3）までは造形部S内の第一の粒子1及び／又は造形部S内のナノ粒子2を固定しながらも、（工程3）で除去できるため、造形物中の不純物となりにくい。具体的な結合剤としては、樹脂材料や水溶性炭水化物が挙げられる。結合剤は液体中に溶解することが好ましい。

【0031】

また、結合剤の付与を液体12の付与工程とは分け、（工程2）の後かつ（工程3）の前に、粉末層11に対し結合剤を付与する工程を設けてもよい。この場合、結合剤は、造形部Sまたは／および非造形部Nに付与することができる。結合剤を付与することにより、第一の粒子1を仮固定することができ、次の粉末層形成が容易になる傾向にある。

結合剤の付与方法としては、液体に結合剤を溶かした液体結合剤を、液体付与装置を用

10

20

30

40

50

いて付与する方法が好ましい。液体結合剤には、樹脂材料を溶剤に溶かした樹脂溶液、水溶性物質を水に溶かした溶液などを用いることができる。

ナノ粒子を分散させた液体 1 2 と結合剤を含有する液とを分けて付与すれば、それぞれの付与装置を付与する液体に応じて独立して最適化することができるため、付与装置の耐久性が優れる傾向にあり、好ましい。

【0032】

結合剤は、(工程 2) を行っている間は第一の粒子 1 及び／又は造形部 S 内のナノ粒子 2 の固定に寄与し、(工程 3) での加熱により分解され除去される。従って、造形部 S 内に付与された結合剤は、(工程 2) の間は造形物の形状を保ち、(工程 3) において、熱によって分解され、分解物が第一の粒子間の隙間を通して除去される。その結果、結合剤が造形物中の不純物として残りにくく、非造形部 N 内の第一の粒子 1 の除去も容易である。結合剤の残留が生じないように結合剤の種類及び量を決定することが好ましい。

10

【0033】

液体 1 2 あるいは液体結合剤の付与に用いる液体付与装置としては、所望の位置に所望の量で液体を付与できる装置であればどのようなものを用いてもよい。液量や配置位置が精度良く制御可能な点から、インクジェット装置を好ましく利用できる。

ナノ粒子分散液である液体 1 2 と液体結合剤とを分けて付与する場合は、それぞれの液を吐出するノズルが設けられたヘッドを有するインクジェット装置により、造形部 S へのナノ粒子分散液 1 2 の付与と液体結合剤の付与を一度に行う構成も好ましい。

【0034】

インクジェット装置にて吐出する場合には液体 1 2 の粘度は適切な値とすることが必要であり、50 cP 以下が好ましく、より好ましくは 20 cP 以下である。一方で、第一の粒子 1 間に液体 1 2 を速やかに拡散させるため、また乾燥時に液体 1 2 を第一の粒子 1 間に凝集させるために、液体 1 2 の粘度を適切な値とする必要があるが、20 cP 以下であることで流体組成物吐出をより制御しやすくなる傾向にある。

20

【0035】

造形物の体積密度を上げて強度をより高めるためには、液体 1 2 中のナノ粒子 2 の体積濃度は、上記粘度の範囲内で、高い方が好ましい。しかしながら、液体 1 2 を乾燥する過程において、第一の粒子 1 間の接触点近傍にナノ粒子 2 を集積させやすくする観点では、液体 1 2 の体積濃度は低い方が望ましい。これらの条件から、液体 1 2 の体積濃度が 50 vol % 以下であることが好ましく、より好ましくは 30 vol % 以下である。固形分濃度が 50 vol % 以下であることで、液体 1 2 が乾燥する際に第一の粒子 1 間にナノ粒子 2 が集積する傾向があり、効率よく第一の粒子 1 の固定に寄与するため好ましい。

30

また、液体 1 2 は複数回付与してもよく、付与するごとに乾燥させてもよい。複数回付与することで造形部 S における粉末層 1 1 中のナノ粒子 2 の濃度を制御することができる。

【0036】

(工程 3) 第二の粉末を焼結または溶融し、造形部内の第一の粒子どうしを固定する工程

本工程では、第二の粉末が焼結または溶融する条件にて粉末層 1 1 を加熱することで、焼結または溶融するナノ粒子 2 を介して、造形部 S 内の第一の粒子 1 どうしを固定する(図 1 C、図 1 F、図 2 F)。

40

【0037】

図 1 C、図 1 F の符号 1 3 は粒子どうしが固定された領域を示している。図 1 A～図 1 H の造形プロセスでは、(工程 1) から(工程 3)、即ち、図 1 D～図 1 F を繰り返し、造形部 S 内の粒子のみを固定しながら粉末層を積層することで、造形物を内部に含む積層体 1 4 が形成される。また、図 2 A～図 2 G の造形プロセスでは、(工程 1) と(工程 2)、即ち、図 2 C～図 2 D を繰り返し、造形部 S 内にナノ粒子 2 を付与した状態の粉末層を積層したのち、複数の粉末層からなる積層体 1 6 をまとめて加熱する。この造形プロセスでも、図 1 G と同じように、造形物を内部に含む積層体 1 4 が形成される。なお、積層

50

体 1 6 を加熱する前に、積層体 1 6 を加圧する工程を設けてもよい。積層体 1 6 を加圧することによって、第一の粒子 1 間の接点数が増加し、加熱時の粒子間結着が効率よく進む傾向にあるからである。

このとき、ナノ粒子 2 の融点が第一の粒子 1 の融点よりも低く、加熱温度をナノ粒子 2 の融点以上かつ第一の粒子 1 の融点未満に設定すれば、ナノ粒子 2 を塗布した箇所のみ第一の粒子 1 同士を連結し固定することができる。

【0038】

加熱時の雰囲気は材料の種類に応じて任意に定めることができる。例えば金属の場合、Ar、N₂などの不活性ガスや、水素ガス雰囲気、真空雰囲気などの酸素が少ない雰囲気

10

で加熱することが、焼結時の金属の酸化を抑えることができるため好ましい。

また、(工程 3) の工程で、周囲に第一の粒子が存在する状況下で、有機成分、樹脂を熱により除去することができるため、造形物の形状を維持しながら、造形物中の残炭素成分を減らすことができる。特に造形物中に厚さが異なる造形形状が混在する場合でも、内部の有機成分、樹脂成分を除去することができるため、造形物の形状の自由度に優れる。

【0039】

(工程 4) 造形部外の第一の粒子を取り除く工程

本工程では、(工程 3) で得られた積層体 1 4 から造形部 S 外の粉末を除去し、造形物 1 5 を得る(図 1 F、図 2 G)。積層体 1 4 から不要な粉末を除去する方法としては、公知の方法含め、いかなる方法を用いてもよい。例えば、洗浄、エア吹付、吸引、加振、ブラシ等による物理的除去方法などが挙げられる。

20

具体的には後述するが、適切な焼結温度、焼結時間を選択することで、本実施形態の造形方法で除去対象となる粉末に含まれる第一の粒子 1 は固定されていないか、固定されていたとしても造形部 S と比較して弱く固定されているため、除去が極めて容易となる。また、除去した粉末は回収して造形材料として再利用することもできる。

【0040】

以上述べた本実施形態の造形方法は、次のような特徴を有する。

- ・主たる造形材料である第一の粒子 1 どうしを直接結合させるのではなく、ナノ粒子 2 を焼結または溶融させ、ナノ粒子 2 の結合作用によってその周囲に存在する第一の粒子 1 を間接的に結合させる。したがって、ナノ粒子 2 を付与する位置及び範囲を制御することで、造形物の形状を制御することができる。しかもナノ粒子分散液 1 2 の状態でナノ粒子 2 を付与するため、インクジェット装置などの付与装置を利用することでナノ粒子 2 を付与する位置、範囲、量などを簡単にかつ高精度に制御することができる。

30

- ・ナノ粒子 2 を焼結または溶融させるので、第一の粒子 1 どうしを強固に結合させることができる。また、ナノ粒子 2 が第一の粒子 1 の間隙を埋める作用があるので、造形物の空隙率を低減することができる。

【0041】

- ・(工程 3) ではナノ粒子 2 が存在する箇所が選択的に固定されるので、非造形部 N の粒子の除去が容易である。また、非造形部 N の粒子を除去する際に、大きな力を加える必要がないので、造形物を破損したり傷つけたりするおそれも少ない。

- ・(工程 4) の直前まで造形部 S 外の第一の粒子 1 が形態を保持したまま残っているため、オーバーハング構造がある場合には、オーバーハング構造の下の第一の粒子 1 をサポート体として利用することができる。

40

これにより、造形物の変形、割れを抑制することができる。しかも、サポート体として利用される第一の粒子 1 は、除去が容易である。

したがって、本実施形態の造形方法によれば、金属材料を用いて、従来手法では造形が困難だった複雑形状や微細形状の造形を容易にかつ高品質に行うことが可能である。

【0042】

- ・図 2 A ~ 図 2 G のように積層体 1 6 を形成し、まとめて加熱する場合には、造形物の全体が均一に加熱される。したがって、局所的な熱衝撃が少なくなり、造形物形成時のひずみや割れが低減する。

50

・樹脂を使用しなくても造形ができるため、脱脂による造形物の縮みや変形を回避できる。また、樹脂を使用しない、もしくは樹脂を使用しても（工程２）で除去することで、不純物の少ない造形物を作製できる。

【００４３】

上述した（工程１）～（工程４）は本実施形態の造形方法のうちの基本的な工程を例示するものにすぎず、本発明の範囲は上述した内容に限定されるものではない。上述した各工程の具体的な処理内容を適宜変更したり、上述した各工程以外の工程を追加しても構わない。

例えば、（工程４）の後に、（工程３）での加熱温度よりも高い温度で造形物１５を加熱する工程を設けてもよい。このような追加加熱処理を行うことで、造形物１５の密度を高めることができる。この場合に、第一の粒子１が焼結する条件（加熱温度、加熱時間など）で造形物１５を加熱してもよい。第一の粒子１どうしを焼結させることにより、造形物１５の特性を向上させ、強度をより高めることができる。

本実施形態の方法で得られる造形物１５は基本的に造形材料のみ（第一の粒子１とナノ粒子２）で構成されており、従来方法の造形物のように樹脂バインダーのような結合剤を含まなくてよい。

したがって、造形物１５を追加で加熱（焼結）したとしても、加熱処理の前後で造形物１５の組成変化が小さい。また、従来方法では加熱処理で樹脂を脱脂する際に造形物の形状が変化するおそれがあったが、本実施形態の造形物１５の場合はそのような問題も生じにくい。

【００４４】

（粒子の製造方法）

第一の粒子１及びナノ粒子２は、公知の方法を含む、いかなる方法で作製してもよい。例えば、金属粒子の製造方法としては、略球形の粒子を得ることができる点で、ガスアトマイズ法及び水アトマイズ法を好ましく用いることができる。また、セラミックス粒子の製造方法としては、略球形の粒子を得ることができる点で、ゾルゲル法などの湿式での製法や、高温の気中で液化させた金属酸化物を冷却し固化させる乾式での製法を、好ましく用いることができる。

【００４５】

（実施例）

次に、上記実施形態に係る製造方法の具体的な実施例について説明する。

<第一の粒子>

本実施例における第一の粉末として、ＳＵＳ３１６Ｌのガスアトマイズ粉末（ＬＰＷ社、ＬＰＷ－３１６－ＡＡＡＶ、平均粒子径３０μｍ）を用いた。

<第二の粒子>

第二の粉末であるナノ粒子として、鉄ナノ粒子（シグマアルドリッチ社、平均粒子径２５ｎｍ）を用いた。

<ナノ粒子分散液>

上述の鉄ナノ粒子５．０ｇをエタノール（特級 キシダ化学社製）４５．０ｇ中に分散させ、ナノ粒子分散液１２を得た。得られたナノ粒子分散液中の鉄ナノ粒子の体積濃度は１．１ｖｏｌ％であった。溶液Ａの粘度は１．２ｃＰであった。

【００４６】

<造形物作成工程>

本実施例に係る造形方法は、例えば図４Ａに示すような造形装置を用いて実施できる。図４Ａの造形装置は、搬送モータ１０３を備える軸上に、第一の粉体を供給する供給装置２０１、第一の粉体の層を均すローラ２０２、ナノ粒子を塗布する塗布装置２０３が移動可能に設置される。

供給装置２０１から造形ステージ１０１に第一の粉体が供給され、その後、ローラ２０２によって均一な粉末層１０２が形成される。その後、塗布装置２０３によって造形部Ｓにナノ粒子２が塗布される。ナノ粒子塗布後、造形ステージ１０１は１層分下降し、再び

10

20

30

40

50

粉末層 102 が形成され、以降、上記工程を繰り返す。

本実施例では、第一の粉体を用いて 20 mm×10 mm、厚さ 100 μm の均一な層を形成した後、ナノ粒子分散液 12 を造形部 S に滴下した。このとき、一度滴下した後に乾燥させ、同じ場所に滴下することを 4 回繰り返して 1 層の粉末層 102 を完成させた。これを 20 層繰り返し、図 4 A に示すような造形物 A (φ 5 mm、厚さ 2 mm) を作成した。

【0047】

また、本実施例に係る造形方法は、図 4 B に示すような造形装置を用いても実施できる。

この造形装置は、ステージ 309 を有する粉末収容部 303 と、ステージ 307 と、ブレード 305 と、液体供給部 304 と、液体付与部 306 と、ヒーター 302 と、駆動機構 301 と、を有する。粉末収容部 303 では、ステージ 309 上に第一の粉末 308 を収容する。ブレード 305 は、粉末収容部 303 に収容されている粉末をステージ 307 上に供給するとともに、ステージ 307 上に供給した粉末を均す機能を有する。この機能を有するもの（例えばローラ形状の部材）であれば、ブレード 305 に代えて用いることもできる。ステージ 307 は、上下方向に移動可能に構成されている。ステージ 309 においても、上下方向に移動可能に構成されている。ステージ 307 上には、ブレード 305 により供給され均された粉末層 311 が積層されて作製されていく造形物 A が配置される。液体供給部 304 は、ナノ粒子分散液 12 を収容する。液体付与部 306 は、液体供給部 304 に収容されたナノ粒子分散液 12 をステージ 307 上の粉末層 311 に付与する。ヒーター 302 は、ステージ 307 上の粉末層を加熱する。また、ブレード 305、液体供給部 304、液体付与部 306、及びヒーター 302 は、移動可能なヘッドに設けられている。

【0048】

造形が行われる場合、まず、スライスデータで定義される厚みに基づいて、1 層分の量の第一の粉末を粉末収容部 303 からステージ 307 上に供給するために、ステージ 309 が上昇する。このとき、ステージ 307 においても、スライスデータで定義される厚みに基づいて、1 層分の第一の粉末の粉末層 311 を形成するための距離だけ、下降する。その後、粉末収容部 303 上をブレード 305 が移動することにより、粉末収容部 303 の上面よりも上に位置する第一の粉末が、ステージ 307 上に供給される。このようにして供給された、ステージ 307 上の 1 層分の量の第一の粉末の表面を、ブレード 305 によって均すことで、第一の粉末の粉末層 311 を形成する。これにより、造形物の 1 スライス分の粉末層 311 が形成される。

次いで、液体付与部 306 を用いて、スライスデータで定義される造形対象物の断面形状に基づいて、粉末層 311 内の造形部 S にナノ粒子分散液 12 を付与する。これにより、造形部 S 内の第一の粒子 1 の間隙にナノ粒子 2 が入り込んだ状態の粉末層が形成される。そして、ヒーター 302 を用いて、第一の粒子どうしは焼結せず、かつ、第二の粒子どうしは焼結または溶融する条件にて粉末層を加熱し、焼結または溶融する第二の粒子によって第一の粒子どうしを固定する。

各層のスライスデータに基づいて、第一の粉末の粉末層の形成、分散液の付与、粉末層の加熱といった一連の処理を層ごとに繰り返すことで、複数の粉末層が重ねられた積層体 310 が作製される。その後、積層体 310 から非造形部 N の第一の粉末を取り除くことで、所望形状の造形物 A が得られる。

【0049】

< 第一焼結工程 >

上述の造形物作成工程で得られた、非造形部 N を含む積層体を、図 5 に示す加熱温度（焼結温度）、加熱時間（焼結時間）の条件で加熱した。なお、雰囲気は窒素雰囲気とし、焼結中の酸素分圧が 10^{-4} atm O_2 となるよう調整した。図 5 には、加熱温度（最高温度）、加熱時間（最高温度での加熱時間）の条件とともに、後述する圧縮強度、造形物 A の破損状態、非造形部 N の粉末の除去状態（除去性）について示している。

< 取出し工程 >

第一焼結工程の後、非造形部 N を除去し、造形物 A を得た。非造形部 N の除去方法はエア吹付とし、エアで除去できない場合はホビー筆（ハンディ・クラウン社製、馬毛）を用いて除去した。このとき、具体的には後述するが、造形物 A の粉体の固定状態が弱すぎると造形物 A が破損する場合があります、また粉体の固定状態が強すぎると非造形部 N の粉体を除去することができなかった。

< 第二焼結工程 >

上述の取出し工程で得られた造形物 A を上述の電気炉内にて窒素雰囲気下、酸素濃度 10^{-8} atm O_2 の条件で $1300^{\circ}C$ 、1 時間の焼結を行い、最終造形物を得た。

この第二焼結工程により、第一の粒子 1 どうしを焼結させることができるので、第一焼結工程で得られた造形物 A の密度を高めることができる。ここでは第一の粒子 1 が焼結する条件で造形物 A を加熱しているが、第二焼結工程における加熱温度（ T_2 ）が、第一焼結工程における加熱温度（ T_1 ）よりも高い温度であれば、第一焼結工程で得られた造形物 A の密度を高めることができる。

【0050】

< 第一焼結工程の焼結温度、焼結時間について >

以下に、第一焼結工程の焼結条件について詳細に説明する。

第一焼結工程では、その後の取出し工程で非造形部 N の粒子を除去する必要があるため、造形部 S（ナノ粒子塗布部）のみが固化し、非造形部 N は固化しないか又は容易に解砕して除去することが必要である。しかし、造形部 S の固化が弱すぎると取出し工程中に造形物 A が破損してしまうおそれがあるため、造形部 S の粉末は容易には解砕しない強度で固定されている必要がある。

そこで、図 5 に示した焼結条件（温度、時間）で第一焼結工程を行って得られた造形物 A に対して、造形物 A の破損状態と非造形部 N の粉末の除去状態と粉末の固定強度に関して評価を行った。粉末の固定強度は圧縮強度で評価し、圧縮強度試験はテンシロン R TC-1250A（株式会社エー・アンド・デイ製）を用いて行った。

図 6 は、圧縮強度試験に用いる測定装置を模式的に示す図である。図 6 に示すように、測定ステージ 401 に造形物 A を設置し、上方から平板圧子 402 を一定速度で侵入させ、そのときの応力をロードセル 403 で測定した。

【0051】

なお、造形物 A の粉末の固定状態が弱く、破損して取り出せない場合があった。このような場合には、まず、造形物作成工程でナノ粒子を塗布した部分の粒子を $\phi 5\text{mm}$ 深さ 2mm のアルミナ容器に充填して第一焼結工程を行った。その後、測定ステージ 401 上において、アルミナ容器を逆さにすることで、粒子が円柱形状を維持したままとなるよう取り出して造形物 A とした。

また、非造形部 N の粒子の固定強度を測定するため、第一の粒子 1 のみを充填したものを同様に作成して測定した。なお、本実施例において、平板圧子 402 の移動速度は 1mm/分 とした。

【0052】

図 7A～図 7C は、圧縮強度試験の試験結果の一例を表す図である。図 7A～図 7C にはそれぞれ、 $550^{\circ}C$ で 60 分、 $600^{\circ}C$ で 60 分、 $700^{\circ}C$ で 60 分の加熱条件で得られた造形物 A に対して上述の圧縮強度試験を行ったときの結果を表している。

図 7A～図 7C から分かるように、焼結が進むにつれて応力の推移はピークを持つようになる。図 7A の状態は粒子同士が固定されていないか又は非常に弱く固定されている状態であり、粒子が動きやすいため、平板圧子 402 が侵入すると粒子は逃げやすい空間へと逃げ、逃げ場が無くなったところから応力が上昇を始める。

一方、図 7B～図 7C の状態では粒子同士がしっかりと固定されている。このため、平板圧子 402 の侵入に対して粒子が逃げられずに、結果、平板圧子 402 に反発力を与える。しかし、平板圧子 402 の侵入が進むにつれて粒子同士の固定箇所が破壊され、粒子が動けるようになって反発力が低下することで応力のピークが生じる。その後、粒子の逃

10

20

30

40

50

げ場が無くなると、再び応力は上昇を始める。図 7 C の状態では、図 7 B の状態よりも焼結が進み、粒子間がよりしっかり固定されている。このため、図 7 C の状態では、図 7 B の状態よりもピークの値が大きくなる。

【0053】

圧縮強度と取出し工程における造形物 A の破損状態と、非造形部 N の粉末の除去状態（除去性）の評価結果を、図 5 に更に示す。ただし、図 5 の＊印は、サンプルが自重により崩壊し、強度試験が測定できなかったことを表す。

造形物 A の破損状態に関しては、5 回造形を行ったうち、

○：破損は生じなかった

△：破損が時々生じた

×：破損した／取出し不可能であった

ということを表している。

非造形部 N の粉末の除去状態に関しては、

◎：エアー吹付で容易に除去できた

○：ホビー筆で容易に除去できた

×：除去は困難であった／除去できなかった

ということを表している。

【0054】

図 5 から分かるように、圧縮強度が 0.5 MPa 以上であると、粒子同士は容易には解砕せず、0.5 MPa より小さいと容易に解砕することができた。つまり、このことから、次のことがわかる。第一焼結工程後（加熱工程後、加熱後）の造形物 A の圧縮強度を P1、非造形部 N の圧縮強度を P2 としたとき、下記式 1 に示す関係を満たしていれば、造形物 A の破損を抑制しながら、容易に非造形部 N の粒子を除去して造形物 A を取り出せることが分かる。

$$P1 \geq 0.5 \text{ MPa} > P2 \quad \cdots (\text{式 1})$$

【0055】

図 8 A、図 8 B は、横軸に焼結温度（最高加熱温度）をとり、縦軸に焼結時間（最高加熱温度での加熱時間）をとったときの圧縮強度について示したグラフであり、図 8 A は非造形部 N について示し、図 8 B は造形物 A について示している。

図 8 A～図 8 B では、

○：圧縮強度が 0.5 MPa より小さい

×：圧縮強度が 0.5 MPa 以上

ということを示している。

【0056】

図 9 は、図 8 A、図 8 B に示す結果からそれぞれ非造形部 N、造形物 A が容易には解砕できない温度・時間の閾値を結んで示したものである。図 9 において、実線は造形物 A の閾値、破線は非造形部 N の閾値をそれぞれ表している。つまり、図 9 に＜A＞で示す領域は、造形物 A も非造形部 N も固化してしまい、造形物 A を取り出すことができない領域を示している。図 9 に＜B＞で示す領域は、造形物 A は十分固化しているが非造形部 N は容易に解砕でき、よって造形物 A の破損を防ぎつつ容易に取り出せる領域を示している。図 9 に＜C＞で示す領域は、非造形部 N は容易に解砕できるが、造形物 A も容易に解砕してしまう領域を示している。

よって、本実施例の条件においては、図 9 に＜B＞で示す領域に含まれる焼結温度、焼結時間で第一焼結工程を行えば、造形物 A の破損を抑制しつつ容易に非造形部 N の粒子を除去して造形物 A を取り出すことができる。

【0057】

以上説明したように本実施形態では、 $P1 \geq 0.5 \text{ MPa} > P2$ （式 1）の関係が成り立つような焼結温度、焼結時間の条件を設定して、焼結工程（第一焼結工程）を行っている。このような焼結工程により得られる造形物 A はしっかり固化され、かつ非造形部 N は容易に解砕できるようになるので、焼結工程後の取出し工程において、造形物 A の変形、

破損を抑制しながら、造形物 A を取り出すことができる。

したがって、本実施形態によれば、造形時の造形物の変形、破損を抑制することができ、より形状自由度の高い造形技術を提供することが可能となる。

【0058】

(その他)

以上、本発明について具体的な形態を挙げて説明してきたが、本発明は上記形態に制限されるものではなく、本発明の技術思想から離脱しない範囲で、様々の変更を行ってもよい。例えば、粒子の種類や焼結工程の雰囲気等は、上記実施例に示した条件に限るものではない。粒子の種類や焼結雰囲気等が上記実施例と異なる場合には、その条件に対応する、式 1 の関係を満たす焼結条件（加熱温度、加熱時間）を設定すれば良い。

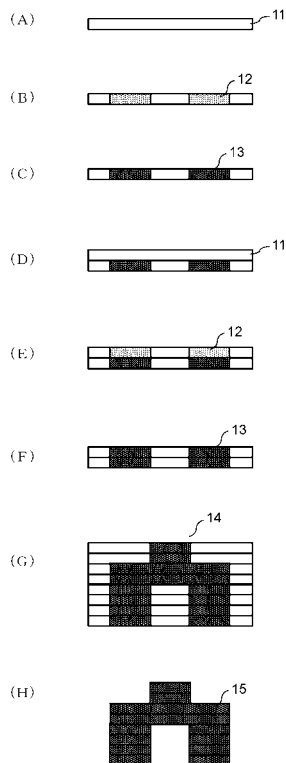
10

【符号の説明】

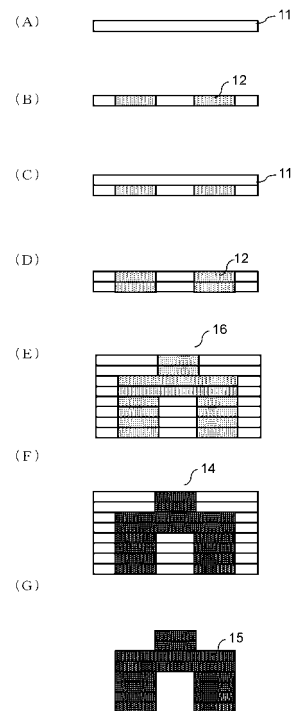
【0059】

1：第一の粒子、2：第二の粒子（ナノ粒子）、11：粉末層、12：液体（ナノ粒子分散液）、15：造形物、S：造形部、N：非造形部

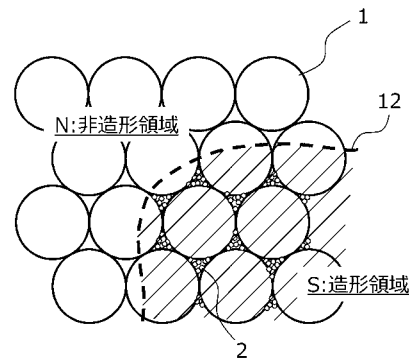
【図 1】



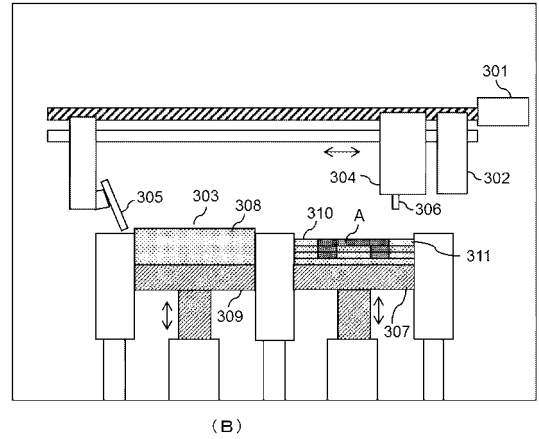
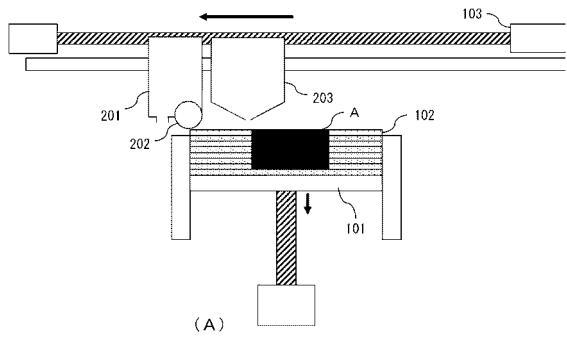
【図 2】



【図 3】



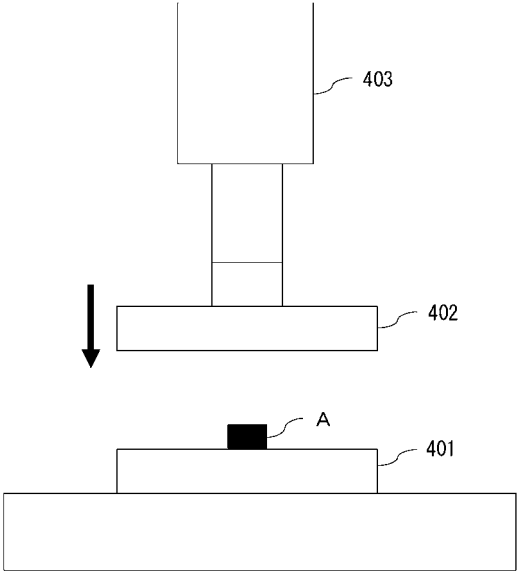
【図 4】



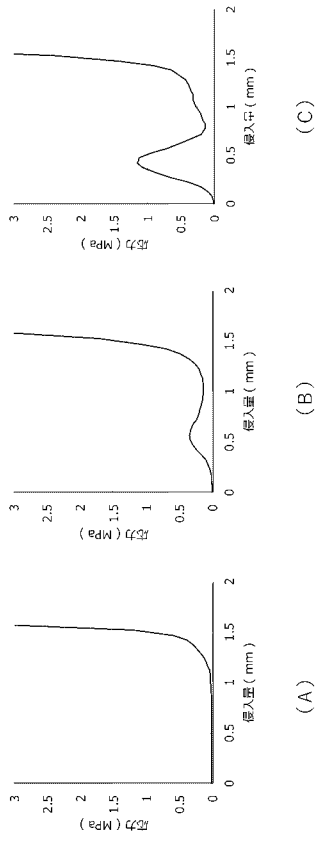
【図 5】

最高温度 (°C)	最高温度 加熱時間 (分)	造形物 圧縮強度 (Mpa)	非造形部 圧縮強度 (Mpa)	造形物 破損	非造形部 除去性
400	600	*	*	×	◎
500	360	0.04	*	×	◎
	600	0.05	*	×	◎
550	60	0.02	*	×	◎
	120	0.03	*	×	◎
	360	0.08	*	×	◎
	600	0.13	0.02	×	◎
575	180	0.26	0.03	△	◎
	360	0.55	0.03	○	◎
	600	0.88	0.12	○	◎
600	60	0.35	0.02	△	◎
	90	0.45	0.03	△	◎
	120	0.63	0.03	○	◎
	180	0.93	0.14	○	◎
650	600	1.24	0.30	○	○
	30	0.44	0.03	△	◎
	60	0.65	0.04	○	◎
	360	0.86	0.23	○	○
675	600	1.36	0.62	×	×
	360	1.48	1.20	×	×
	20	0.68	0.11	○	◎
700	60	1.15	0.50	×	×
	80	1.20	0.65	×	×
	600	3.80	3.44	×	×
800	20	3.32	2.74	×	×
900	5	7.55	6.86	×	×

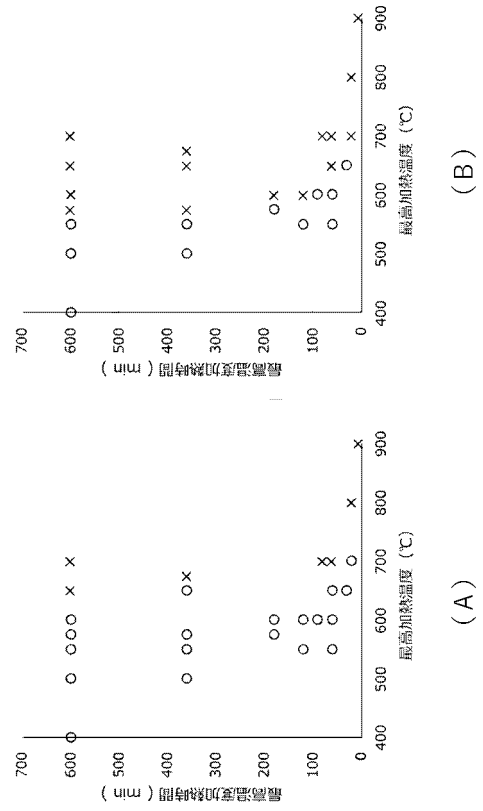
【図 6】



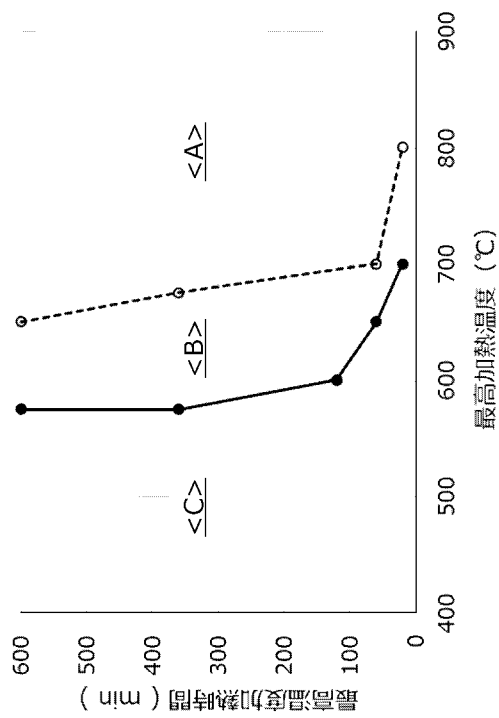
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード (参考)
B 2 2 F 3/105 (2006.01) B 2 2 F 3/105

(72)発明者 宇佐美 博一
東京都大田区下丸子 3 丁目 3 0 番 2 号 キヤノン株式会社内

(72)発明者 杉山 享
東京都大田区下丸子 3 丁目 3 0 番 2 号 キヤノン株式会社内

F ターム(参考) 4F213 AR06 AR12 AR20 WA25 WB01 WL02 WL15 WL24 WL26 WL32
WL50 WL67 WL96
4K018 AA02 AA03 AA06 AA08 AA10 AA13 AA15 AA24 AA33 AA40
BA01 BA02 BA03 BA13 BA14 BA17 BA20 BB04 BB05 CA07
CA33 CA44 DA31 DA32 EA51 EA60 KA53