

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6101707号
(P6101707)

(45) 発行日 平成29年3月22日 (2017.3.22)

(24) 登録日 平成29年3月3日 (2017.3.3)

(51) Int. Cl.

F I

B 2 2 F	3/105	(2006.01)	B 2 2 F	3/105
B 2 2 F	3/16	(2006.01)	B 2 2 F	3/16
B 2 9 C	67/00	(2017.01)	B 2 9 C	67/00
B 3 3 Y	10/00	(2015.01)	B 3 3 Y	10/00
B 3 3 Y	30/00	(2015.01)	B 3 3 Y	30/00

請求項の数 13 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2014-549397 (P2014-549397)
 (86) (22) 出願日 平成24年12月4日 (2012.12.4)
 (65) 公表番号 特表2015-507092 (P2015-507092A)
 (43) 公表日 平成27年3月5日 (2015.3.5)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2012/074383
 (87) 国際公開番号 W02013/098050
 (87) 国際公開日 平成25年7月4日 (2013.7.4)
 審査請求日 平成27年10月14日 (2015.10.14)
 (31) 優先権主張番号 61/580,768
 (32) 優先日 平成23年12月28日 (2011.12.28)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 513089497
 アーカム アーベー
 スウェーデン国, エス-4 3 1 3 7 モ
 ルンダル, クロックスラツ ファブリカ
 ー 2 7 アー
 (74) 代理人 100114775
 弁理士 高岡 亮一
 (74) 代理人 100121511
 弁理士 小田 直
 (74) 代理人 100191086
 弁理士 高橋 香元
 (72) 発明者 アークリッド, ウルフ
 スウェーデン国, エス-4 1 1 2 5 グ
 ーテボルグ, グスタフスガータン 2 1 b

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 積層造形法による三次元物品の解像度を向上させるための方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

三次元物品の連続的な断面に対応する粉末ベッドの一部の連続的な融解によって、前記三次元物品を形成する際の解像度を向上させるための方法であって、前記方法は、

a . 真空チャンバを提供するステップと、
 b . 電子銃を提供するステップと、
 c . 前記真空チャンバ内部のワークテーブル上に第 1 の粉末層を供給するステップと、
 d . 前記電子銃から発せられる電子ビームを前記ワークテーブル上へと向けて、選択された位置で前記第 1 の粉末層を融解させ、前記三次元物品の第 1 の断面を形成するステップと、
 e . 前記ワークテーブル上に第 2 の粉末層を供給するステップと、
 f . 前記電子ビームを前記ワークテーブル上へと向けて、選択された位置で前記第 2 の粉末層を融解させ、前記三次元物品の第 2 の断面を形成するステップであって、前記第 2 の層は前記第 1 の層に結合されるステップと、
 を含み、前記方法は、
g . 粉末の分配が開始されるときに初期圧力レベルを、粉末の分配が完了されるときに第 1 の圧力レベルを提供するステップと、

h . 前記第 1 の粉末層を供給するステップと前記第 2 の粉末層を供給するステップの間に、前記真空チャンバ内の圧力を、前記第 1 の圧力レベルから第 2 の圧力レベルへと減少させるステップであって、予熱中の平均圧力レベルが、前記選択された位置での融解の間

の平均圧力レベルよりも高く、前記第 2 の圧力レベルが、前記第 1 の圧力レベルおよび前記初期圧力レベルよりも低い、ステップと、

i . 前記第 1 の圧力レベルおよび前記予熱中の平均圧力レベルを、粉末の煙を禁じるために十分に高い圧力レベルに至らせるステップと、

j . 前記第 2 の圧力レベルおよび前記融解の間の平均圧力レベルを、電子ビーム解像度が可能な限り高くあり得る圧力レベルに至らせるステップと、

をさらに含むことを特徴とする、方法。

【請求項 2】

前記粉末ベッドを少なくとも部分的に前記第 1 の圧力レベルで予熱するステップをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 3】

前記粉末ベッドが、前記選択された位置において、少なくとも部分的に前記第 2 の圧力レベルにおいて融解される、請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記予熱の間に、前記電子ビームによる照射を受けた際にイオンを供給することが可能な第 1 の補助ガスを前記真空チャンバ内に供給するステップをさらに含む、請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 5】

前記第 1 の補助ガスが、少なくとも 1 種の不活性ガスである、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の方法。

20

【請求項 6】

前記不活性ガスが、ヘリウム、アルゴン、二酸化炭素、窒素、ネオン、クリプトン、キセノン、およびラドンからなる群から選択される 1 つ以上である、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記第 1 の圧力レベルが、 $1.0 \cdot 10^{-3}$ m b a r である、請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 8】

少なくとも前記電子ビームに曝された場合に、前記ワークテーブル上の粉末層と化学的および/または物理的に反応することが可能な第 2 の補助ガスを前記真空チャンバ内に供給するステップをさらに含む、請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の方法。

30

【請求項 9】

前記第 2 の補助ガスが、水素、重水素、炭化水素、有機化合物ガス、アンモニア、窒素、酸素、一酸化炭素、二酸化炭素、酸化窒素、および/または亜酸化窒素からなる群から選択される 1 つ以上である、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記第 2 の圧力レベルが、 $1.0 \cdot 10^{-5}$ m b a r 以下である、請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 11】

前記ワークテーブル上に供給される前記粉末が金属から形成される、請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の方法。

40

【請求項 12】

前記第 2 の補助ガスが、前記選択された位置での融解の間に供給される、請求項 8 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 13】

前記第 2 の補助ガスが、前記真空チャンバ内の圧力レベルが既定レベルを下回る場合に注入される、請求項 8 ~ 12 のいずれか 1 項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明は、請求項１のプレアンブルに記載の、積層造形法による三次元物品の解像度を向上させるための方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

自由造形法 (free form fabrication) または積層造形法 (additive manufacturing) は、ワークテーブルに適用された粉末層の選択部分の連続的な融解によって三次元物品を形成する方法の一つである。

【０００３】

このような装置は、その上に三次元物品が形成されるワークテーブルと、粉末ベッドの形成のためにワークテーブル上に粉末の薄層を配置するように構成された粉末ディスペンサーと、融解させる粉末にエネルギーを送達するためのエネルギービームと、粉末ベッドの一部の融解を介した三次元物品の断面形成のための、粉末ベッドに対するエネルギービームによって生じたエネルギーの制御用要素と、三次元物品の連続的な断面に関する情報を記憶する制御用コンピュータと、を備え得る。三次元物品は、粉末ディスペンサーにより連続的に敷かれた、連続的に形成された粉末層の断面の連続的な融解によって形成される。

【０００４】

エネルギービームが電子ビームの形で粉末に当たると、電子ターゲット領域の周囲に電荷分布が生じる。望ましくは、この電荷は、作製される物品の製造済み部分、および／または粉末ベッドを介して、グラウンドに向けて導かれる。この電荷分布密度が許容限界を超える場合、ビームが放射されている位置の周囲に既定レベル以上の電界強度を有する電界が生じる。既定レベル以上の電界強度を有する電界は、 E_{max} と称される。電界は粉末粒子同士の反発を引き起こすため、粒子は粒子の最上面の層から離れ、面上を浮遊する粒子の分布を作り出す。浮遊粒子は、面上に位置する雲のようなものである。電界が E_{max} 以上の電界強度を有する場合、電界、換言すれば粒子の雲または粉末の煙は、装置の解像度に悪影響を与える。これは、部分的には、粒子の雲における粒子が電子ビームを発散させるという事実起因する。電界が E_{max} 以下の電界強度を有する場合、電界、すなわち粒子の雲が、装置の解像度に対して大きな影響を与えることはない。そのため、 E_{max} 以下の電界強度が望ましい。

【０００５】

粒子は電荷を帯びているため、接地面を求め、それにより一部の粒子は雲から離れ、その後、真空チャンバ内部に配置されている装置の異なる部分を汚染する。このような臨界電界の結果として、粉末表面の構造が破壊される。

【０００６】

粒子の帯電を回避するという課題の解決法の１つは、国際公開第 2008/147306 号に開示されている。同文献においては、電子ビームが粉末材料に放射される位置に近接して存在するイオンの総量が制御される。例示的な一実施形態によれば、これは、真空チャンバ内に、電子ビームの照射を受けた際にイオンを作り出すことが可能な補助ガスを導入することによって実施される。

【０００７】

この解決法の問題点は、補助ガスが電子ビームスポットの面積を増大させ、それにより積層造形法工程の解像度に悪影響を与えることである。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００８】

本発明の目的は、浮遊粒子を防止できるように粉末材料における電界分布を維持しながら、積層造形法工程における解像度を向上させるための方法および装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【０００９】

上述の目的は、請求項 1 に記載の方法における特徴によって達成される。

【 0 0 1 0 】

本発明の第 1 の態様において、三次元物品の連続的な断面に対応する、粉末ベッドの一部の連続的な融解によって三次元物品を形成する際の解像度を向上させるための方法が提供される。この方法は、真空チャンバを提供するステップと、電子銃を提供するステップと、真空チャンバ内部のワークテーブル上に第 1 の粉末層を供給するステップと、電子銃から発せられる電子ビームをワークテーブル上へと向けて、選択された位置で第 1 の粉末層を融解させ、三次元物品の第 1 の断面を形成するステップと、ワークテーブル上に第 2 の粉末層を供給するステップと、電子ビームをワークテーブル上へと向けて、選択された位置で第 2 の粉末層を融解させ、三次元物品の第 2 の断面を形成するステップであって、第 2 の層は第 1 の層に結合されるステップと、第 1 の粉末層を供給するステップと第 2 の粉末層を供給するステップの間に、真空チャンバ内の圧力を、第 1 の圧力レベルから第 2 の圧力レベルへと減少させるステップと、を含む。

10

【 0 0 1 1 】

本発明の利点の一つは、粉末の煙が生じる可能性が高い予熱ステップの間に、相対的に高い第 1 の圧力レベルを提供し、その後、圧力を相対的に低い第 2 の圧力レベルへと下げることにより、真空チャンバ内の圧力レベルおよび / またはイオンの総量を工程ステップに適合させることが可能なことである。それにより、予熱ステップは、存在するイオンの数が粉末の煙を禁じるために十分なほどに高い第 1 の圧力レベルで実施される。予熱はいかなる種類のエネルギービームの質であっても実施可能であるため、電子ビームとガス原子の相互作用に起因するエネルギービームの発散が、最終的な三次元物品の品質に影響を与えることはない。実際の粉末の融解は、電子ビームの解像度を可能な限り高くできるように、第 1 の圧力レベルよりも大幅に小さな第 2 の圧力レベルで実施される。融解ステップの間の真空チャンバ内のガス原子の数は、予熱ステップの間よりも大幅に少ない。粉末は既に焼結されているので、粒子の煙は問題とならない。融解ステップの間の圧力レベルの減少は、電子ビームの質に影響を与え、すなわち、圧力レベルが下がるにつれて、ビームの質は良くなる。これが、製造される最終的な三次元物品の解像度の向上に繋がる。

20

【 0 0 1 2 】

本発明の別の利点は、最先端技術と比較して、積層造形法工程の間の平均圧力を減少させ得ることにより、電子ビーム源のフィラメントの寿命を延ばすことが可能なことである。例示的な一実施形態において、相対的に高い第 1 の圧力レベルが用いられる期間は、各層の総工程所要時間の僅か 20 % 以下の場合もある。各層の工程所要時間の残りの部分では第 2 の圧力レベルが用いられ、これは第 1 の圧力レベルよりも大幅に低い。例示的な一実施形態において、この第 2 の圧力レベルは、各層の工程所要時間の 80 % 以上の期間において用いられ得る。相対的に高い第 1 の圧力レベルは、予熱ステップの最初の部分においてのみ用いられ得る。第 1 の圧力レベルよりも大幅に低い第 2 の圧力レベルは、融解ステップの全体、予熱ステップの第 2 の部分、および各層における任意の他の工程ステップの間に用いられ得る。

30

【 0 0 1 3 】

本発明の例示的な一実施形態において、本方法は、予熱の間に、電子ビームによる照射を受けた際にイオンを供給することが可能な第 1 の補助ガスを真空チャンバ内に供給するステップをさらに含む。

40

【 0 0 1 4 】

この実施形態の利点は、粉末の煙を抑制するために必要な量を超えないガス量を供給可能なことである。

【 0 0 1 5 】

本発明のさらに別の例示的な実施形態においては、第 1 の補助ガスは少なくとも 1 種の不活性ガスであり、この不活性ガスは、ヘリウム、アルゴン、二酸化炭素、窒素、ネオン、クリプトン、キセノン、ラドンからなる群における 1 つまたは複数である。

【 0 0 1 6 】

50

本発明の利点の一つは、真空チャンバにおいて他のガスを使用してもよいことである。重原子のガスは電子ビームを過度に散乱させ、解像度を悪化させるため、通常、例えばヘリウムのような軽原子のガスが用いられた。予熱ステップから融解ステップにかけての圧力の減少は、電子ビームの解像度を維持しながら重原子のガスを使用することを可能とする。アルゴンは、ヘリウムと比較するとより重い原子であるが、粉末の煙を防止するためには優れたガスである。予熱の間の電子ビームの質は重要ではないため、アルゴン、または二酸化炭素、窒素、ネオン、クリプトン、キセノン、ラドンのうちの任意の1つ、もしくはこれらの組み合わせが、予熱の間の粉末煙を防止するために用いられ得る。融解の間の圧力が十分に下げられるならば、予熱と融解の間の圧力が同じである場合にみられるであろう電子ビームの質の悪化は生じない。

10

【0017】

本発明のさらに別の例示的な実施形態において、本方法は、少なくとも電子ビームに曝された場合に、ワークテーブル上の粉末層と化学的および/または物理的に反応することが可能な第2の補助ガスを真空チャンバ内に供給するステップをさらに含む。

【0018】

真空チャンバ内の圧力は、融解ステップの間、約 10^{-5} mbar 以下に下げられているため、第2の補助ガスが融解ステップの間に真空チャンバ内に供給され得る。この第2の補助ガスは、例えば強度、展延性、または他の力学的特性の上昇によって、最終的な物品の特性に影響し得る。

【0019】

20

本発明のさらに別の例示的な実施形態において、この第2の補助ガスは、水素、重水素、炭化水素、有機化合物ガス、アンモニア、窒素、酸素、一酸化炭素、二酸化炭素、酸化窒素、および/または亜酸化窒素からなる群から選択される1以上である。

【0020】

本発明は、以下において、添付の図面を参照しながら、非限定的なものとしてさらに説明される。複数の図面全体にわたって、同一の参照符号は、対応する類似の部分を示すために用いられる。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】本発明による方法を実施し得る第1の例示的な実施形態を示す図である。

30

【図2】本発明の方法の第1および第2の実施形態を適用可能な、三次元物品を製造するための装置の例示的な一実施形態を示す概略図である。

【図3】本発明による第1の例示的な実施形態の圧力と時間との関係を示すグラフを示す図である。

【図4】荷電粒子雲を伴う粉末状物質の表面の一例を示す概略図である。

【図5】本発明による方法を実施し得る第2の例示的な実施形態を示す図である。

【図6】本発明による第2の例示的な実施形態の圧力と時間との関係を示すグラフを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

40

本発明の理解を促すため、用語のいくつかについて以下で定義を行う。本明細書において定義される用語は、本発明に関する分野における通常の知識を有する者によって一般に理解される意味を有する。「a」、「an」、および「the」といった語は、単数の要素を表すことのみを意図されたものではなく、例示のために具体例が用いられ得る一般的なクラスを含む。本明細書における専門用語は、本発明の特定の実施例を説明するために用いられるが、その使用は、特許請求の範囲において概要が説明されたものを除き、本発明の範囲を限定するものではない。

【0023】

本明細書において用いられる「三次元構造」およびこれと同様の用語は、一般に、特定の目的の為に用いられることが意図された、所望の、または実際に製造された（例えば、

50

構成材または複数の構成材の) 三次元構成を指す。このような構造等は、例えば、三次元 CAD システムを用いて設計され得る。

【 0 0 2 4 】

本明細書において、様々な実施形態で用いられる「電子ビーム」の用語は、任意の荷電粒子ビームを意味する。荷電粒子ビームのビーム源として、電子銃、線形加速器などを含むことができる。

【 0 0 2 5 】

図 2 は、本発明による方法が実施され得る自由造形装置または積層造形装置 2 1 の一実施形態を示す。

【 0 0 2 6 】

この装置 2 1 は、電子銃 6 と、偏向コイル 7 と、2 つの粉末ホッパー 4、1 4 と、製作プラットフォーム 2 と、製作タンク 1 0 と、粉末分配器 2 8 と、粉末ベッド 5 と、真空チャンバ 2 0 と、を備える。

【 0 0 2 7 】

真空チャンバ 2 0 は、ターボ分子ポンプと、スクロールポンプと、イオンポンプと、1 以上のバルブと、を備え得る真空システムにより真空環境を維持することが可能であり、このシステムは当業者に周知であるため、この文脈における更なる説明の必要はない。真空システムは、制御ユニット 8 により制御される。

【 0 0 2 8 】

電子ビーム銃 6 は、製作プラットフォーム 2 上に供給された粉末材料をあわせて溶解または融解させるために用いられる電子ビームを発生させる。電子ビーム銃 6 の少なくとも一部は、真空チャンバ 2 0 内に設けられ得る。制御ユニット 8 は、電子ビーム銃 6 から放射された電子ビームの制御および操作のために用いられ得る。少なくとも 1 つの集束コイル (不図示)、少なくとも 1 つの偏向コイル 7、非点収差補正のための選択的なコイル (不図示)、および電子ビーム電源 (不図示) が、制御ユニット 8 に電氣的に接続され得る。本発明の例示的な一実施形態において、この電子ビーム銃 6 は、約 1 5 ~ 6 0 k V の加速電圧と、3 ~ 1 0 K w の範囲のビーム出力とを有する、フォーカス可能な電子ビームを発生させる。エネルギービームにより層ごとの粉末を融解させることによって三次元物品を製作するとき、真空チャンバの圧力は、 10^{-3} m b a r またはそれ以下であってよい。

【 0 0 2 9 】

粉末ホッパー 4、1 4 は、製作タンク 1 0 内の製作プラットフォーム 2 上に供給される粉末材料を備える。この粉末材料は、例えば、チタン、チタン合金、アルミニウム、アルミニウム合金、ステンレススチール、C o - C r 合金、ニッケル系超合金などの純金属または金属合金であってよい。

【 0 0 3 0 】

粉末分配器 2 8 は、製作プラットフォーム 2 上に粉末材料の薄層を配置するように構成される。作業サイクルの間、製作プラットフォーム 2 は、真空チャンバ内の固定点に対して連続的に引き下げられる。この動きを可能とするために、製作プラットフォーム 2 は、本発明の一実施形態において、垂直方向、すなわち矢印 P で示される方向に移動可能であるように構成される。これは、製造プラットフォーム 2 が初期位置から開始し、この初期位置では、必要な厚さの第 1 の粉末材料層が敷かれていることを意味する。製造プラットフォーム 2 を下降させるための手段は、例えば、歯車、調節ねじなどを備えたサーボエンジンを介するものであってよい。

【 0 0 3 1 】

電子ビームは、製作プラットフォーム 2 上に向けられて、第 1 の粉末層の選択された位置における融解を生じさせ、三次元物品の第 1 の断面を形成する。ビームは、制御ユニット 8 により与えられる命令によって製作プラットフォーム 2 上に向けられる。制御ユニット 8 内には、三次元物品の層のそれぞれにおける電子ビームの制御の仕方についての命令が記憶される。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 2 】

第1の層が仕上げられた後、すなわち、三次元物品の第1の層を形成するための粉末層の融解の後、製作プラットフォーム2上に第2の粉末層が供給される。好適には、第2の粉末層は、前の層と同じ様式に従って分配される。しかしながら、同一の積層造形装置において、ワークテーブル上に粉末を分配するための別の方法もあり得る。例えば、第1の層は第1の粉末分配器28によって供給されてもよく、第2の層は別の粉末分配器によって供給されてもよい。粉末分配器の設計は、制御ユニット8からの命令に従って自動的に変化する。単一レーキシステム形式の粉末分配器28、すなわち、1つのレーキが左粉末ホッパー4と右粉末ホッパー14の両者から落下した粉末を受け取る粉末分配器においては、レーキ自体が設計を変えることが可能である。

10

【 0 0 3 3 】

製作プラットフォーム上に第2の粉末層が分配された後、エネルギービームがワークテーブル上に向けられ、選択された位置において第2の粉末層を融解させ、三次元物品の第2の断面を形成する。第2の層における融解部分は、第1の層における融解部分に結合され得る。第1の層および第2の層における融解部分は、最上層の粉末の溶解のみならず、最上層の直下の層の厚さの少なくともごく一部の再度の溶解により、共に溶解され得る。

【 0 0 3 4 】

電子ビームが用いられる場合、電子が粉末ベッド5に衝突する際に粉末に生成される電荷分布を考慮する必要がある。本発明は、少なくとも部分的には、電荷分布密度が以下のパラメータ、すなわちビーム電流、電子速度（これは加速電圧によって与えられる）、ビーム走査速度、粉末材料、および粉末の電気伝導率、すなわち主に粉末粒子間の電気伝導率によって定まるという認識に基づくものである。後者は、温度、焼結の程度、および粉末粒子の大きさ／大きさ分布といった複数のパラメータの関数である。

20

【 0 0 3 5 】

したがって、所定の粉末、すなわち特定の粒径分布を有する特定材料の粉末、および所定の加速電圧において、ビーム電流（ひいてはビーム出力）およびビーム走査速度を変化させることによって、電荷分布に影響を及ぼすことが可能である。

【 0 0 3 6 】

これらのパラメータを制御された方法で変化させることにより、粉末の温度を上昇させることで、粉末の電気伝導率を徐々に上昇させることが可能である。高い温度を有する粉末は非常に高い伝導率を獲得し、それが、電荷がすぐに広範な領域に拡散可能であることによる電荷分布密度を低下させる。粉末が予熱工程の間に僅かに焼結されることが可能な場合、この効果はより強化される。伝導率が十分に高くなった場合、予め定められたビーム電流およびビーム走査速度で粉末をあわせて融解させること、すなわち溶解または完全に焼結させることが可能である。

30

【 0 0 3 7 】

ある走査パスと別の走査パスが空間的・時間的に十分に隔てられていない場合、ある走査パスに沿って発生する電荷密度は、別の走査パスに沿って発生する電荷密度によって影響を受けるため、任意の走査手順において粉末中に生じる電荷密度を説明するための一般関数は、時間とビーム位置のかなり複雑な関数となるであろう。したがって、異なるパス間の電荷の加重効果を考慮する必要がある。

40

【 0 0 3 8 】

図4は、荷電粒子雲41を伴う粉末材料の粉末ベッド5の上層5'を示す。粉末材料に対して放射される電子ビーム42の位置の周囲に粒子雲が集中している。電界が強くなると、放射位置の周囲に生じる粒子雲も広がる。したがって、粉末表面の電荷を十分に中和するために、真空チャンバ内に導入されるイオン、または真空チャンバ内で生成されるイオンの数は、所定の基準を上回るものであるべきである。この所定の基準は、 E_{max} よりも小さな電界強度を維持できるように選択されるべきである。そうすることで、粉末材料の十分な量が中和され、粉末の浮き上がりが防止される。

【 0 0 3 9 】

50

図 1 は、本発明による方法を実施し得る第 1 の例示的な実施形態を示す。図 1 は、ガスボトル 25 の形式によるガス圧力源を示す。ガスボトル 25 は、パイプ 27 およびバルブ 23 を介して積層造形装置 21 に接続可能である。この実施形態におけるバルブは、制御ユニット 8 により制御される。バルブが開放されると、ガス源 25 からのガスが、吸入口 22 を通して積層造形装置 21 内に供給される。バルブは、全開と全閉の間の任意の位置に設定され、すなわち、ガス流はバルブ 23 によって調節され得る。別の実施形態においては、積層造形装置 21 内へのガスのための開放手段および閉鎖手段という機能のみをバルブ 23 に残して、圧力および流量の調整弁はガス源 25 に直接設けられてもよい。

【0040】

図 3 は、本発明の図 1 による第 1 の例示的な実施形態の圧力と時間との関係を示すグラフを示す。図 3 において、それぞれ 31, 32, 33, 34 で示される 4 つの異なる工程ステップが圧力グラフ上に示される。図 3 において、粉末の分配は 31 で示される第 1 の工程ステップである。粉末の分配 31 の間、すなわち製作プラットフォーム 2 (空の製作プラットフォーム、または融解した材料の 1 以上の断面を供給された製作プラットフォーム) 上に粉末を供給する間、積層造形装置 21 内部の圧力は、粉末の分配が開始されたときの初期圧力レベル P1 から、粉末の分配の完了したときの第 1 の圧力レベル P2 へと上げられ得る。

【0041】

次の工程ステップは、予熱ステップ 32 である。予熱の間に、製作プラットフォーム 2 上に供給された粉末は、融解ステップ 33 の前に適切な温度にされる。この予熱ステップは、粉末煙を生じさせることなく粉末ベッドを熱するための適切な様式で、粉末ベッド上を電子ビームが走査することによって実施される。これは、第 1 の走査ラインにおける電荷の総和が第 2 の走査ラインに供給される電荷に影響を与えないように、2 つの連続する走査ラインの間に十分な間隔を置くことにより実施される。予熱の間、積層造形装置 21 内の圧力は、粉末の煙を抑制または排除するために十分なほど高い第 1 の圧力レベル P2 とされる。この第 1 の圧力レベル P2 は、約 10^{-3} mbar であってよい。この圧力レベルは、予熱の間を通して一定の高レベルであってよい。あるいは、この圧力レベルは、予熱の間に変化するものの、常に粉末の煙を抑制するための十分な高さを有する。図 3 では、予熱の最初の部分において、圧力は第 1 の圧力レベル P2 という高いレベルにある。予熱の第 2 の部分において、圧力は一定の割合で第 2 の圧力レベル P3 まで減少し、ここで、この第 2 の圧力レベル P3 は、第 1 の圧力レベル P2 および初期圧力レベル P1 よりも低いものである。粉末の煙は、粉末が全く焼結されていない場合、予熱の最初期に生じる可能性が最も高い。粉末が焼結されるにつれて、粉末の煙が生じる可能性は低くなる。したがって、予熱ステップの間に、図 3 に例示されているようにしばらくの時間の経過後に圧力を下げ始めることが可能である。

【0042】

融解ステップ 33 の間、積層造形装置 21 内の圧力は可能な限り低く維持されてよく、図 3 においては、圧力は第 2 の圧力レベル P3 に維持されており、これは約 10^{-5} mbar 以下であってよい。

【0043】

本発明の方法において、積層造形装置の真空チャンバ内の圧力は、第 1 の粉末層を供給するステップと第 2 の粉末層を供給するステップの間に、本明細書において第 1 の圧力レベル P2 として表される第 1 の圧力レベルから、P3 として表される第 2 の圧力レベルへと下げられる。

【0044】

粉末ベッドの予熱は、第 2 の圧力レベル P3 よりも高い第 1 の圧力レベル P2 で、少なくとも部分的に実施されてよい。粉末ベッドは、少なくとも部分的には第 2 の圧力レベル P3 で、選択された位置で融解され得る。

【0045】

融解ステップが完了したとき、粉末と、融解した粉末は、所定の温度間隔の範囲内とな

10

20

30

40

50

るように、多少の加熱を必要とし得る。この加熱ステップは、図3において34で示される。予熱温度は材料に依存し、これは、異なる材料は異なる予熱温度間隔を必要とすることを意味する。この予熱のために選択される温度は、最終的な三次元物品の内部応力および疲労特性に影響し得る。この加熱が完了したとき、または加熱の必要がないときは、次の粉末層を供給することにより、工程が最初から繰り返される。予熱ステップ32の間に必要とされる圧力に到達することを可能とするために、積層造形装置内の圧力は、加熱ステップの間に既に上げられ始めてもよい。

【0046】

図5は、本発明による方法を実施し得る第2の例示的な実施形態を示す。図5は、ガスボトル52の形式によるガス圧力源、第2バルブ54、およびリザーバ56を示す。リザーバ56は、パイプ27およびバルブ23を介して積層造形装置21と接続可能である。この実施形態において、バルブ23および第2バルブ54は制御ユニット8により制御される。バルブ23、54は、オンオフバルブであってよい。

10

【0047】

第2バルブ54の開放時に、バルブ23は閉鎖される。第2バルブ54が開放されバルブ23が閉鎖されることにより、ガス源52からのガスがリザーバ56内に供給される。リザーバ56の一定容積を前提とすると、第2バルブが開放される圧力と時間は、リザーバに供給されるガスの量を決定する。例示的な一実施形態において、このバルブ54が開放される時間は1秒であってよい。

【0048】

20

第2バルブ54の閉鎖時に、リザーバからのガスを積層造形装置21内に導入するために、バルブ23が開放されてもよい。例示的な一実施形態において、バルブ23が開放される時間は1秒であってよい。

【0049】

図3における実施形態は、バルブ23および第2バルブ54の開放および閉鎖によって操作される。バルブ23、54の両方が、同時に閉鎖されてもよい。バルブ23、54の一方が開放されると、バルブ23、54のもう一方は閉鎖される。バルブ23、54の両方が同時に開放されることがない可能性があり、この場合、バルブの少なくとも一方が図1においてバルブが制御されるように制御される必要があり、これは第2バルブ54およびリザーバ54が余分となることを意味する。

30

【0050】

図6は、本発明による第2の例示的な実施形態の圧力と時間との関係を示すグラフを示す。図6において、それぞれ61、62、63、64で示される4つの異なる工程ステップが圧力グラフに示される。図3において、粉末の分配は61で示される第1の工程ステップである。粉末の分配61の間、すなわち製作プラットフォーム2（空の製作プラットフォーム、または融解した材料の1以上の断面を供給された製作プラットフォーム）上に粉末を供給する間、積層造形装置21内部の圧力は第2の圧力レベルP2であってよい。

【0051】

次の工程ステップは、予熱ステップ62である。予熱の間に、製作プラットフォーム2上に供給された粉末は、融解ステップ63の前に適切な温度にされる。この予熱ステップは、図3との関連で説明したとおり、粉末煙を生じさせることなく粉末ベッドを熱するための適切な様式で、粉末ベッド上を電子ビームが走査することによって実施される。予熱の間、積層造形装置21内の圧力は、最初は、粉末の煙を抑制するために十分なほど高い第1の圧力レベルP2とされる。この第1の圧力レベルP2は、約 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ mbarであってよい。リザーバ内に供給されたガスが真空チャンバ内へと入れられ、真空チャンバ内の圧力は、比較的素早く、圧力時間グラフにおいて垂直の線で示される第1の圧力レベルP2へと引き上げられる。真空ポンプが真空チャンバから内容物を連続的に送り出すにつれて、圧力はポンプ効率に応じた比率で下降し、これは第1の圧力レベルP2から第2の圧力レベルP1への傾斜した線で表される。

40

【0052】

50

粉末の煙は、粉末が全く焼結されていない場合、予熱の最初期に生じる可能性が最も高いため、このガス圧力の減少は粉末の煙の抑制に影響を与えない。

【0053】

融解ステップ63の間、積層造形装置21内の圧力は可能な限り低く維持されてよく、図3においては、圧力は第2の圧力レベルP1に維持されており、これは約 10^{-5} mbar以下であってよい。

【0054】

別の実施形態においては、第1の圧力レベルP2は約 10^{-2} mbarであってよく、第2の圧力レベルP1は 10^{-3} mbar以下であってよい。さらに別の例示的な実施形態においては、第1の圧力レベルP2は 2×10^{-3} mbarであってよく、第2の圧力レベルP1は 10^{-4} mbarであってよい。さらに別の例示的な実施形態においては、第1の圧力レベルP2は 2×10^{-2} mbarであってよく、第2の圧力レベルP1は 2×10^{-5} mbarであってよい。第1の圧力レベルP2は、同一の電子ビーム出力を前提とすると材料依存性が非常に高い粉末の煙の確実な抑制を確かなものとするため、比較的高い圧力に維持されてよい。第2の圧力レベルP1は、電子ビームを可能な限り良質に維持するため、すなわち、電子ビームのフィラメントから粉末ベッドまでのパスの間に、可能な限り原子間の相互作用によって不鮮明なものとなることがないように、比較的低い圧力に維持されてよい。

【0055】

本発明の方法において、積層造形装置の真空チャンバ内の圧力は、第1の粉末層を供給するステップと第2の粉末層を供給するステップの間に、図6において第1の圧力レベルP2として表される第1の圧力レベルから、P1として表される第2の圧力レベルへと下げられる。

【0056】

図6のとおり、粉末ベッドの予熱は、高い圧力、すなわち第1の圧力レベルP2から、第2の圧力レベルP1であってよい低い圧力レベルへと下げられた圧力レベルで、少なくとも部分的に実施されてよい。粉末ベッドは、少なくとも部分的には第2の圧力レベルP1で、選択された位置で融解され得る。

【0057】

融解ステップ63が完了したとき、粉末と、融解した粉末は、所定の温度間隔の範囲内となるように、多少の加熱を必要とし得る。この加熱ステップは、図6において64で示される。図6に示される実施形態において、この加熱ステップは、第2の圧力レベルP1の下で少なくとも部分的に実施され得る。この選択的な加熱ステップの後、最初から全てが繰り返される。すなわち、前の粉末層の上部に次の粉末層が適用され、続いて予熱、融解、加熱が行われる。これは、融解される粉末材料の第1の層の供給と第2の層の供給の間に、真空チャンバ内の圧力が第1の値から第2の値へと下げられることを意味する。真空チャンバ内の圧力は、工程ステップに応じて上下する。予熱は、融解ステップと比べて高い圧力で実施される。融解が完了した後、次の層の予熱の間の粒子煙を抑制するために、真空チャンバ内の圧力は再度上げられる。

【0058】

真空チャンバ内に供給される第1の補助ガスは、予熱の間に電子ビームを照射された場合にイオンを供給することが可能であってよい。この第1の補助ガスは、少なくとも1種の不活性ガスであってよい。この不活性ガスは、ヘリウム、アルゴン、二酸化炭素、窒素、ネオン、クリプトン、キセノン、ラドンからなる群から選択される1以上である。

【0059】

第1の圧力レベルP2は、約 10^{-3} mbarであってよい。第1の圧力レベルは、選択される第1の補助ガスの種類に応じて変えられ得るものであり、上述の複数の補助ガスの間で、より軽い原子は、より重い原子よりも幾分高い圧力を必要とし得る。

【0060】

第2の補助ガスが、積層造形装置21の真空チャンバ内に供給されてもよい。この第2

10

20

30

40

50

の補助ガスは、少なくとも電子ビームに曝されている場合に、ワークテーブル上の粉末層と科学的小よびノまたは物理的に反応することが可能であってよい。

【0061】

第1および第2の補助ガスは、真空チャンバ内に同時に存在してもよい。

【0062】

第2の補助ガスは、融解ステップの間に積層造形装置21の真空チャンバに供給されてもよい。第2の補助ガスは、融解ステップを通して一定かつ十分な量の第2の補助ガスを確保するために、予熱ステップの終期に真空チャンバ内に入れられてもよい。これは全ての粉末層が同量の第2の補助ガスによって溶解されることを確保するためのものであり、これが、製造される三次元物品が全体にわたって同一の材料特性となることを確保する。

10

【0063】

第2の補助ガスは、水素、重水素、炭化水素、有機化合物ガス、アンモニア、窒素、酸素、一酸化炭素、二酸化炭素、酸化窒素、およびノまたは亜酸化窒素からなる群から選択される1以上のガスであってよい。

【0064】

第2の圧力レベルP1、P3は、約 10^{-5} mbarであってよい。より重いガス原子は、軽い原子よりも幾分低い圧力を必要とし得る。これは、重い原子は軽い原子よりも電子ビームを散乱させ得ること、したがって、軽い原子の場合と同等の解像度の電子ビームを得るためには、重い原子を少なくする必要があるという事実に関係する。

【0065】

20

ワークテーブル上に供給される粉末は、金属から形成されるものであってよい。

【0066】

予熱の間の平均圧力レベルは、選択された位置の融解の間の平均圧力レベルよりも高いものであってよい。少なくとも第1の補助ガスの圧力レベルをより高いものとするのは、粉末煙の可能性を減少または排除するためである。イオンビームが粉末に衝突した場合に生じる粉末中の電荷の量を中和または減少させるために、真空チャンバには一定数のイオンが必要とされる。そのため、予熱ステップの間に、上述のように第1の補助ガスを取り入れるか、または真空チャンバにイオンを送り込むイオン発生器を真空チャンバに設けることにより、真空チャンバ内にある程度のガス圧力を存在させる必要がある。

【0067】

30

粉末層の1以上において、粉末層Nの予熱は第1の圧力レベルで実施されてよく、粉末層Nの融解は第2の圧力レベルで実施されてよく、ここで、第1の圧力レベルは第2の圧力レベルよりも高いものであってよく、Nは1以上の任意の整数であってよい。

【0068】

融解の間、ガス原子が電子ビームの解像度に対して多少影響し得るため、真空チャンバ内のガスの圧力レベルを最小限に維持することが望ましい。上述の理由により、同等の電子ビーム解像度を維持するために許容される圧力には、真空チャンバ内に存在するイオンの種類に応じて多少の差があり得る。

【0069】

本発明の別の態様において、三次元物品の連続的な断面に対応する粉末ベッドの一部の連続的な融解によって三次元物品を形成するための装置が提供される。この装置は、真空チャンバと、電子銃と、真空チャンバ内部のワークテーブル上に第1の粉末層を供給するための粉末分配器と、ワークテーブル上の電子ビームのパスを制御し、三次元物品の第1の断面を形成するために選択された位置で第1の粉末層を融解させるための制御ユニットと、を備え、この制御ユニットは、真空チャンバ内の圧力を、粉末層の予熱の少なくとも一部の間に用いられる第1の圧力レベルから、粉末層の融解の少なくとも一部の間に用いられる第2の圧力レベルへと減少させるように構成される。

40

【0070】

電子ビームのパスは、当業者には公知の電子銃内に配置された1以上の偏向コイルによって制御されてもよい。制御ユニットは、粉末層上の融解されるパターン（選択された位

50

置)に従って偏向コイルを制御してもよい。

【0071】

予熱は、粉末層を予め定められた温度まで熱するために用いられてよく、予熱の間、真空チャンバ内の圧力は、粉末の融解が実施されるときと比較して高いものであってよい。制御ユニットは、真空ポンプと、1以上のガス供給バルブを制御してもよい。予熱の間に、補助ガスが真空チャンバ内に入れられてもよい。この補助ガスは、例えば、予熱の間に電子ビームの照射を受けた場合にイオンを供給することが可能なガスであってよい。かかる補助ガスは、ヘリウム、アルゴン、二酸化炭素、窒素、ネオン、クリプトン、ラドンであってよい。

【0072】

制御ユニットは、真空チャンバ内の圧力を、予熱の間の第1の圧力レベルから、融解の間の第2の圧力レベルへと変化させてもよい。第2の圧力レベルは、第1の圧力レベルよりも低い圧力を有する。融解は、真空チャンバ内に存在する分子による電子ビームの外乱を可能な限り小さくして実施され得る。粉末層の1以上において、粉末層Nの予熱は第1の圧力レベルで実施されてよく、粉末層Nの融解は第2の圧力レベルで実施されてよく、ここで、第1の圧力レベルは第2の圧力レベルよりも高いものであってよく、Nは1以上の任意の整数であってよい。

【0073】

本発明は上述の実施形態に限定されるものではなく、以下の特許請求の範囲内において多くの変更例が可能である。このような変更例は、例えばレーザービーム等のように、例示された電子ビームとは異なるエネルギービーム源の使用を含んでもよい。ポリマーの粉末またはセラミックの粉末等、金属粉末以外の材料が用いられてもよい。

【図1】

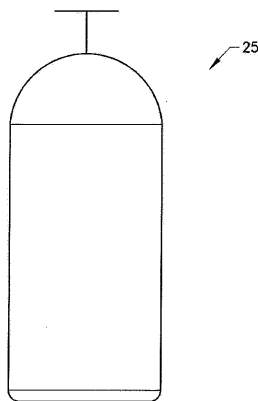


FIG. 1

【図2】

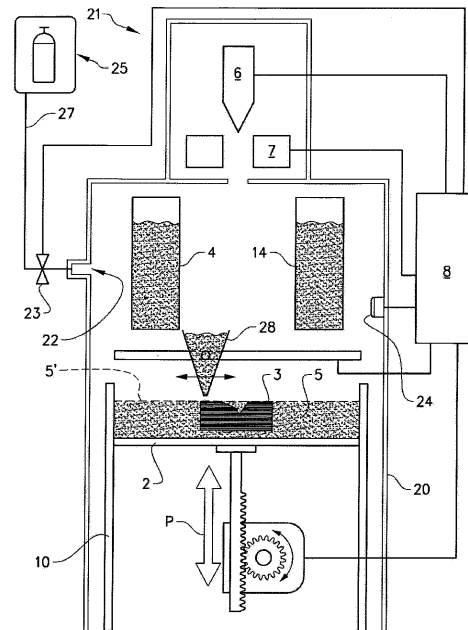


FIG. 2

10

20

【図 3】

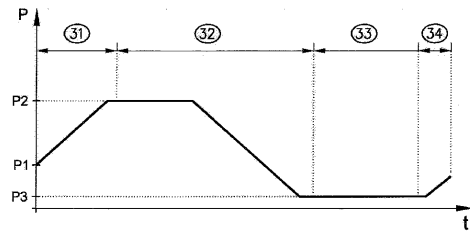


FIG. 3

【図 4】

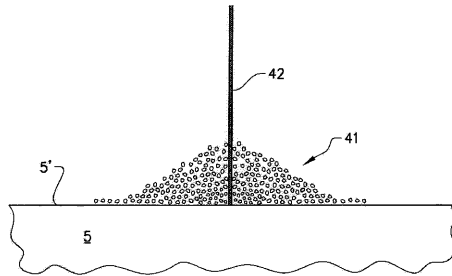


FIG. 4

【図 5】

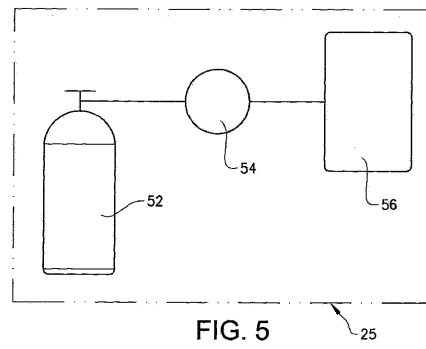


FIG. 5

【図 6】

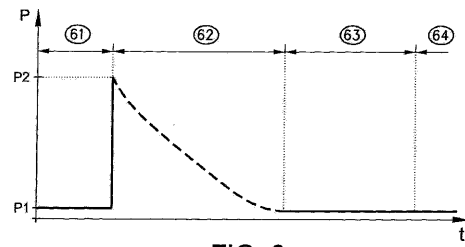


FIG. 6

フロントページの続き

審査官 川村 裕二

(56)参考文献 特表 2 0 1 0 - 5 2 6 6 9 4 (J P , A)
特開 2 0 1 1 - 0 5 2 2 8 9 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 0 6 9 4 4 9 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 2 6 5 5 2 1 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

B 2 2 F	3 / 0 0 - 8 / 0 0
B 2 9 C	6 7 / 0 0
B 3 3 Y	1 0 / 0 0
B 3 3 Y	3 0 / 0 0