(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7221157号
(P7221157)

(45)発行日　令和5年2月13日(2023.2.13)

(24)登録日　令和5年2月3日(2023.2.3)

(51)国際特許分類

		FI	
B22F	*10/368 (2021.01)*	B22F	10/368
B33Y	*30/00 (2015.01)*	B33Y	30/00
B33Y	*10/00 (2015.01)*	B33Y	10/00
B29C	*64/153 (2017.01)*	B29C	64/153
B33Y	*50/02 (2015.01)*	B33Y	50/02

請求項の数　12　（全14頁）　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2019-123764(P2019-123764)
(22)出願日　令和1年7月2日(2019.7.2)
(65)公開番号　特開2021-8658(P2021-8658A)
(43)公開日　令和3年1月28日(2021.1.28)
審査請求日　令和4年3月22日(2022.3.22)

(73)特許権者　000000239
株式会社荏原製作所
東京都大田区羽田旭町１１番１号
(74)代理人　100106208
弁理士　宮前 徹
(74)代理人　100146710
弁理士　鐘ヶ江 幸男
(74)代理人　100186613
弁理士　渡邊 誠
(72)発明者　篠崎 弘行
東京都大田区羽田旭町１１番１号 株式会社荏原製作所内
審査官　松岡 徹

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　ＡＭ装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

造形物を製造するためのＡＭ装置であって、

造形物の材料にビームを照射するためのビーム源と

ビームの強度を調整するための調整装置と、

材料上でのビームサイズを調整する、ビーム調整機構と、

造形レシピ決定装置と、を有し、

前記造形レシピ決定装置は、造形物の材料の特性に基づいてビームの強度および材料上でのビームサイズを決定するように構成されており、

前記造形レシピ決定装置は、造形物の材料の熱伝導の時定数をτｃとするときに、ビームの照射時間が約２τｃから約４τｃの間で、ビームが照射される領域における造形物の材料の下表面が溶融温度に到達するようにビームの強度および材料上でのビームサイズを決定するように構成されている、

ＡＭ装置。

【請求項２】

請求項１に記載のＡＭ装置であって、

前記造形物の材料の特性は、密度（ρ）、比熱（ｃ）、熱伝導率（λ）、および厚さ（δ）を含む、

ＡＭ装置。

【請求項３】

請求項１または２に記載のＡＭ装置であって、
造形物の材料を支持するためのベースプレートと、
前記ベースプレート上に造形物の材料を供給するための材料供給機構と、を有し、
前記造形物の材料は粉体であり、
前記材料供給機構は、供給される粉体の厚さが粉体の粒子の粒径相当の厚さとなるように前記粉体を１層分だけ供給するように構成されている、
ＡＭ装置。
【請求項４】
請求項１から３のいずれか一項に記載のＡＭ装置であって、
前記造形レシピ決定装置は、造形物の材料の表面温度が融点＋２％から１０％の温度となるように、ビームの強度および材料上でのビームサイズを決定する、
ＡＭ装置。
【請求項５】
請求項１から４のいずれか一項に記載のＡＭ装置であって、
前記造形物の材料は粉体であり、
前記ＡＭ装置はさらに、前記粉体を粒子径の異なる複数のクラスに分級するための分級機を有する、
ＡＭ装置。
【請求項６】
請求項５に記載のＡＭ装置であって、
前記造形レシピ決定装置は、前記粉体の粒子径に応じてビームの強度および材料上でのビームサイズを決定するように構成されている、
ＡＭ装置。
【請求項７】
ＡＭ法により造形物を製造する方法であって、
造形物の材料を用意する工程と、
造形物の材料の特性に基づいてビームの強度および材料上でのビームサイズを決定する工程と、
決定されたビーム強度およびビームサイズで材料上にビームを照射する工程と、を有し、
造形物の材料の熱伝導の時定数をτｃとするときに、ビームの照射時間が約２τｃから約４τｃの間で、ビームが照射される領域における造形物の材料の下表面が溶融温度に到達するようにビームの強度および材料上でのビームサイズを決定する、
方法。
【請求項８】
請求項７に記載の方法であって、
前記造形物の材料の特性は、密度（ρ）、比熱（ｃ）、熱伝導率（λ）、および厚さ（δ）を含む、
方法。
【請求項９】
請求項７または８に記載の方法であって、
前記造形物の材料は粉体であり、
前記方法はさらに、供給される粉体の厚さが粉体の粒子の粒径相当の厚さとなるように前記粉体を１層分だけ供給する工程を有する、
方法。
【請求項１０】
請求項７から９のいずれか一項に記載の方法であって、
造形物の材料の表面温度が融点＋２％から１０％の温度となるように、ビームの強度および材料上でのビームサイズを決定する、
方法。
【請求項１１】

請求項７から１０のいずれか一項に記載の方法であって、
前記造形物の材料は粉体であり、
前記方法はさらに、前記粉体を粒子径の異なる複数のクラスに分級する工程を有する、方法。
【請求項１２】
請求項１１に記載の方法であって、
前記粉体の粒子径に応じてビームの強度および材料上でのビームサイズを決定する、方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本願は、ＡＭ装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
三次元物体を表現したコンピュータ上の三次元データから、三次元物体を直接的に造形する技術が知られている。たとえば、Additive Manufacturing（ＡＭ）（付加製造）法が知られている。一例として、金属紛体を用いるＡＭ法においては、敷き詰められた金属紛体に対して、造形する部分に熱源であるレーザービームや電子ビームを照射して、金属紛体を溶融・凝固または焼結させることで三次元物体の各層を造形する。ＡＭ法においては、このような工程を繰り返すことで、所望の三次元物体を造形することができる。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【文献】国際公開第２０１５／１５１８３９号
特開２０１８－１２３３８１号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
金属粉体を材料として用いるＡＭ装置においては、各層ごとにビームを走査して造形物の各層を形成していくので、造形物が大きくなると造形時間も長くなる。ＡＭ装置の課題の一つとして、造形時間を短縮することが望まれる。造形時間を短縮するために、１回の積層プロセスで金属粉体を厚く敷き詰めて、１回の積層プロセスで厚く造形する方策が考えられる。しかし、金属粉体を厚く敷き詰めると、材料の熱伝導特性により内部まで熱量が移動するのに一定の時間がかかるため、金属粉体層の表面のみが溶融し、内部が溶融せずに適切に造形できないことがある。また、ビームの照射エネルギーおよび走査速度を大きくして、造形時間を短縮する方策も考えられる。しかし、ビームの照射エネルギーを大きくすると、金属粉体層の表面が過昇温になり、ヒュームやスパッタが発生しやすくなる。ヒュームやスパッタが発生すると、造形物に欠陥を生じさせたり、ビームの照射系に障害を引き起こしたりすることがあり、安定した造形を維持できないことがある。そこで、本願は、ＡＭ装置において、ヒュームやスパッタの発生を抑制しながら、造形時間を短縮するための技術を提供することを１つの目的としている。
【課題を解決するための手段】
【０００５】
一実施形態によれば、造形物を製造するためのＡＭ装置が提供され、かかるＡＭ装置は、造形物の材料にビームを照射するためのビーム源と、ビームの強度を調整するための調整装置と、材料上でのビームサイズを調整する、ビーム調整機構と、造形レシピ決定装置と、を有し、前記造形レシピ決定装置は、造形物の材料の特性に基づいてビームの強度および材料上でのビームサイズを決定するように構成されている。
【図面の簡単な説明】
【０００６】

【図１】一実施形態による、造形物を製造するためのＡＭ装置を概略的に示す図である。
【図２】ＳＵＳを加熱した場合の温度と状態変化を概略的に示す図である。
【図３】材料の表面にビームを照射したときに、材料粉の表面から下方に熱が伝達していくときの温度上昇を説明するための図である。
【図４】材料であるＳＵＳの表面を加熱した時の下面の温度上昇を概略的に示すグラフである。
【図５】材料粉末がｎ層で積層されている様子を模式的に示す図である。
【発明を実施するための形態】
【０００７】
以下に、本発明に係る造形物を製造するためのＡＭ装置の実施形態を添付図面とともに説明する。添付図面において、同一または類似の要素には同一または類似の参照符号が付され、各実施形態の説明において同一または類似の要素に関する重複する説明は省略することがある。また、各実施形態で示される特徴は、互いに矛盾しない限り他の実施形態にも適用可能である。
【０００８】
図１は、一実施形態による、造形物を製造するためのＡＭ装置を概略的に示す図である。図１に示されるように、ＡＭ装置１００は、プロセスチャンバ１０２を含む。プロセスチャンバ１０２の底面１０４には、ビルドアップチャンバ１０６が取り付けられている。ビルドアップチャンバ１０６には、リフトテーブル１０８が設置されている。リフトテーブル１０８は、駆動機構１１０により上下方向（ｚ方向）に移動可能である。駆動機構１１０はたとえば、空圧式、油圧式の駆動機構としてもよく、モータおよびボールねじからなる駆動機構としてもよい。なお、図示しないが、プロセスチャンバ１０２に保護ガスを導入および排出するための入口および出口を配置してもよい。
【０００９】
一実施形態において、図１に示されるように、リフトテーブル１０８の上には、ＸＹステージ１１２が配置される。ＸＹステージ１１２は、リフトテーブル１０８の平面に平行な二方向（ｘ方向、ｙ方向）に移動可能なステージである。ＸＹステージ１１２の上には、造形物の材料を支持するためのベースプレート１１４が配置される。
【００１０】
プロセスチャンバ１０２内において、ビルドアップチャンバ１０６の上方に、造形物の材料を供給するための、材料供給機構１５０が配置されている。材料供給機構１５０は、造形物の材料となる粉末１５２、たとえば金属粉末を保持するための貯蔵容器１５４と、貯蔵容器１５４を移動させるための移動機構１６０と、を備える。貯蔵容器１５４には、材料粉末１５２をベースプレート１１４上に排出するための開口１５６を備える。開口１５６は、たとえば、ベースプレート１１４の一辺より長い直線状の開口１５６とすることができる。この場合、移動機構１６０を、開口１５６の直線に直交する方向にベースプレート１１４の他方の辺より長い範囲で移動させるように構成することで、ベースプレート１１４の全面に材料粉末１５２を供給することができる。また、貯蔵容器１５４は、開口１５６の開閉を制御するための弁１５８を備える。
【００１１】
図１において、貯蔵容器１５４は１つだけ配置されているが、一実施形態として、貯蔵容器１５４を複数配置してもよい。複数の貯蔵容器１５４を設ける場合、各貯蔵容器１５４に異なる材料を保持するようにしてもよく、また、同一の材料であるが粒子径の異なる材料粉末１５２を保持するようにしてもよい。
【００１２】
一実施形態において、図１に示されるように、ＡＭ装置１００は、レーザー光源１７０、およびレーザー光源１７０から発されたレーザー１７２をベースプレート１１４上の材料粉末１５２に向けて案内する走査機構１７４を備える。また、図１に示されるＡＭ装置１００は、照射するビームの強度を調整するための調整装置１７１を備える。かかる調整装置１７１は、レーザー光源や電子ビーム源に供給する電力の大きさを調整するように構

成することができる。さらに、図１に示されるＡＭ装置１００は、照射するビームの形状およびプロファイルを調整するためのビームシェイパ１７３を備える。図示の実施形態において、レーザー光源１７０、調整装置１７１、ビームシェイパ１７３、および走査機構１７４は、プロセスチャンバ１０２内に配置されているが、これらの全部または一部はプロセスチャンバ１０２の外部に配置されてもよい。走査機構１７４は、任意の光学系から構成することができ、ベースプレート１１４上の造形面（フォーカス面）の任意に位置にレーザー１７２を照射することができるように構成される。

【００１３】

一実施形態において、ＡＭ装置１００は、ビームの照射位置の温度を測定するための温度センサ１７５を備える。温度センサ１７５は、非接触式の任意の温度センサとすることができ、たとえば、測定波長約６５０ｎｍの単色放射温度計を用い、測定用のレーザーを金属溶融用のレーザー光軸に重ねて溶融池へ照射し、反射光をシリコンなどの検出素子で受ける方式を使用することができる。なお、測定用のレーザーは溶融用のレーザー波長と異なる波長を使用する。温度センサ１７５で測定された温度データは、制御装置２００に送られる。一実施形態において、制御装置２００は、温度センサ１７５で測定したビーム照射位置の温度に基づいてビームの出力を制御してもよい。たとえば、ビーム照射位置の温度が材料の融点＋２％～１０％の範囲となるようにビームの照射エネルギーを制御することで、後述する穏やかな溶融を実現することができる。

【００１４】

一実施形態において、レーザー光源１７０に変えて、電子ビーム源を使用してもよい。電子ビーム源を用いる場合、走査機構１７４は磁石等から構成され、ベースプレート１１４上の造形面の任意に位置に電子ビームを照射することができるように構成される。

【００１５】

図１に示される実施形態において、ＡＭ装置１００は制御装置２００を有する。制御装置２００は、ＡＭ装置１００の各種の動作機構、たとえば上述の駆動機構１１０、移動機構１６０、レーザー光源１７０、調整装置１７１、ビームシェイパ１７３、走査機構１７４、開口１５６の弁１５８などの動作を制御するように構成される。制御装置２００は、一般的なコンピュータまたは専用コンピュータから構成することができる。

【００１６】

一実施形態において、ＡＭ装置１００は、造形レシピ決定装置２０２を備える。造形レシピ決定装置２０２は、制御装置２００と同一のハードウェアから構成されてもよく、別の専用のハードウェアから構成されてもよい。造形レシピ決定装置２０２は、造形に使用する材料粉末１５２の特性に基づいてＡＭ工程のレシピを決定するように構成されている。材料粉末１５２の特性は、たとえば素材および粉末の粒子径などを含む。造形レシピ決定装置２０２により決定されるレシピは、照射するビームのエネルギー、パワー、パワー密度、スポットサイズ、照射時間、および走査速度の少なくとも１つを含む。

【００１７】

一実施形態において、ＡＭ装置１００は、材料粉末１５２を粒子サイズに基づいて分級するための分級機２５０を備えることができる。分級機２５０は、粒径分布が狭い複数のクラスに材料粉末１５２を分級できることが望ましい。一実施形態において、標準偏差が中心粒径の約５％程度になるように材料粉末１５２を分級するとよい。

【００１８】

図１に示される実施形態によるＡＭ装置１００で三次元物体を造形する場合、概ね、以下の手順で行われる。まず、造形対象物の三次元データＤ１が制御装置２００に入力される。制御装置２００は、入力された造形物の三次元データＤ１から、造形用のスライスデータを作成する。また、造形レシピ決定装置２０２または、造形レシピ決定装置２０２を含む制御装置２００は、造形条件やレシピを含む実行データを作成する。造形条件およびレシピは、たとえば、ビーム条件、ビーム走査条件、および積層条件を含む。ビーム条件は、レーザーを使用する場合、レーザー光源１７０の電圧条件やレーザー出力などを含み、また、電子ビームを使用する場合、ビーム電圧やビーム電流などを含む。ビーム走査条

件は、走査パターン、走査ルート、走査速度、および走査間隔などを含む。走査パターンとしては、たとえば、一方向に走査する場合、往復方向に走査する場合、ジグザグに走査する場合、小さい円を描きながら横方向に移動する場合などがある。走査ルートは、たとえばどのような順序で走査を行うか、などを決定する。積層条件は、たとえば、材料の種類、粉末材料の平均粒径、粒形状、粒度分布、積層厚さ（造形する際に材料粉末を敷き詰める厚さ）、造形厚さ係数（積層厚さと実際に造形された造形物の厚さとの割合）などを含む。なお、上述の造形条件およびレシピの一部は、入力された造形物の三次元データに応じて作成および変更してもよく、入力された造形物の三次元データにかかわらず予め決定されていてもよい。

【００１９】

貯蔵容器１５４内に造形物の材料粉末１５２、たとえば金属粉末を入れる。ビルドアップチャンバ１０６のリフトテーブル１０８を上の位置まで移動させ、ベースプレート１１４の表面が、レーザー１７２のフォーカス面に来るようにする。次に、貯蔵容器１５４の開口１５６の弁１５８を開いて、貯蔵容器１５４を移動させて、材料粉末１５２をベースプレート１１４上に一様に供給する。材料供給機構１５０は、造形物の一層分に相当する（上述の「積層厚さ」に相当する）材料粉末１５２をフォーカス面に供給するように制御装置２００により制御される。次に、レーザー光源１７０からレーザー１７２が発せられ、走査機構１７４により、所定の範囲にレーザー１７２をフォーカス面に照射して、所定の位置の材料粉末を溶融、焼結させて、一層分の造形物Ｍ１を形成する。この時、必要であれば、リフトテーブル１０８の上に配置されているＸＹステージ１１２も移動さて、レーザー１７２の照射位置を変更してもよい。

【００２０】

一層分の造形が終了したら、ビルドアップチャンバ１０６のリフトテーブル１０８を一層分下げる。再び、材料供給機構１５０により、造形物の一層分に相当する材料粉末１５２をフォーカス面に供給する。そして、走査機構１７４によりレーザー１７２をフォーカス面上で走査して、所定の位置の材料粉末１５２を溶融、焼結させて、一層分の造形物Ｍ１を形成する。これらの動作を繰り返すことで、目標とする造形物Ｍ１の全体を粉末１５２から形成することができる。

【００２１】

以下において、一実施形態によるＡＭ装置における造形条件およびレシピの決定について詳述する。上述したように、ＡＭ装置においては、ヒュームやスパッタの発生を抑制しながら、造形時間を短縮することが望ましい。そこで、以下では、ヒュームやスパッタの発生を抑制しながら、造形時間を短縮する方策について説明する。一例として、材料粉末１５２としてステンレス鋼（ＳＵＳ）を用いる場合について説明する。

【００２２】

図２は、ＳＵＳを加熱した場合の温度と状態変化を概略的に示す図である。図２に示されるように、ＳＵＳを加熱すると融点（Ｔ１）に達して固体と液体が混ざった状態になる。さらに加熱を続けるとＳＵＳは全て液体の状態になる。さらにＳＵＳを加熱すると、沸点（Ｔ２）に達して、液体を気体が混ざった状態になり、さらに加熱することでＳＵＳは全て気体の状態になる。図２においては、一例として融点（Ｔ１）が１４５０℃、沸点（Ｔ２）が２７５０℃のＳＵＳを挙げているが、ＳＵＳであっても成分の違いにより沸点や融点などの物性は異なることに注意されたい。ＡＭ法においては、材料粉末を溶融・凝固させて所望の物体を造形していくので、材料粉末を融点以上に加熱する必要がある。

【００２３】

図３は、材料の表面にビームを照射したときに、材料の表面から下方に熱が伝達していくときの温度上昇を説明するための図である。図３は、ビームが照射された材料粉末１５２を上方から見た状態と横方から見た状態を示している。図３に示されるように、直径ｄのビームが照射されているとする。図３に示されるように、直径ｄのビームスポット中の面積ΔＡ、厚さδの領域の熱伝導および温度上昇を考える。

【００２４】

ビーム照射前の材料１５２の表面の温度（Ｔａ（０））は、材料の下面の温度（Ｔｂ（０））と同じである。すなわち、Ｔａ（０）＝Ｔｂ（０）である。ビームが照射されてから任意の時間ｔが経過したときの材料の下面の温度Ｔｂ（ｔ）は、

式（１）：　Ｔｂ（ｔ）＝（Ｔａ（ｔ）－Ｔａ（０））×（１－ｅｘｐ（－ｔ／τｃ））＋Ｔｂ（０）

と表される。

ここでτｃは、時定数であり

式（２）：　τｃ＝（ｍ×ｃ）×Ｒ

と表される。

ただし、

ｍ：質量［ｋｇ］＝ΔＡ×δ×ρ

ρ：密度［ｋｇ／ｍ^3］

ｃ：比熱［Ｊ／ｋｇ・Ｋ］

ｍ×ｃ：熱容量［Ｊ／Ｋ］

Ｒ：熱抵抗［Ｋ／Ｗ］

である。

また、熱抵抗Ｒは、

式（３）：　Ｒ＝（δ／（λ×ΔＡ））

で表される。

ただし、

λ：熱伝導率［Ｗ／ｍ・Ｋ］

である。

また、時定数τｃは、式（２）および式（３）から

式（４）：　τｃ＝（ΔＡ×δ×ρ×ｃ）×（δ／（λ×ΔＡ））＝ρ×ｃ×δ^2／λ

と表すことができる。

【００２５】

図４は、材料であるＳＵＳの表面Ｔａを加熱した時の下面Ｔｂの温度上昇を概略的に示すグラフである。図４中の曲線Ｌ１は、ビームの照射により材料の表面の温度がほぼ融点（Ｔ１＝１４５０℃）に達する条件（穏やかな条件）でビームを照射したときの材料の下面の温度変化を示している。すなわち、Ｔａ（ｔ）＝１４５０℃となる条件である。また、図４中の曲線Ｌ２は、ビームの照射により材料の表面の温度がほぼ沸点（Ｔ２＝２７５０℃）に達する条件（厳しい条件）でビームを照射したときの材料の下面の温度変化を示している。すなわち、Ｔａ（ｔ）＝２７５０℃となる条件である。時定数τｃは材料の物性および配置（厚さδ）により決定される条件であるので、式（１）および図４のグラフから分かるように、厳しい条件でビームを照射したときの方が、材料の下面が融点（Ｔ１）に達する時間Δｔが短くなる。すなわち、ビーム出力が大きいほど材料の下面が融点（Ｔ１）に達する時間Δｔが短くなる。よって、ＡＭ法において、造形時間を短くする１つの方策として、ビームの出力を大きくし、ビームの走査速度を大きくすることが考えられる。しかし、上述したように、ビームの照射エネルギーを大きくすると、材料粉末層の表面が過昇温になり、ヒュームやスパッタが発生しやすくなり、造形物に欠陥を生じさせたり、ＡＭ装置のビーム照射系に障害を引き起こしたりすることがある。そのため、本願では、緩やかな条件で造形時間を短縮する方法を考える。

【００２６】

穏やかな条件によるビーム照射の場合、材料の表面温度Ｔａ（ｔ）は、ある瞬間に融点（Ｔ１＝１４５０℃）に達し、ビームの照射中のある時間Δｔの間に表面温度Ｔａ（ｔ）＝Ｔ１（＝１４５０℃）が維持されると仮定している。このような仮定に基づく穏やかな条件の場合、材料の表面から深さδの下表面の温度Ｔｂ（ｔ）が融点（Ｔ１＝１４５０℃）に達するために必要な時間Δｔは、

式（５）：　Δｔ　４τｃ＝４×ρ×ｃ×δ^2／λ

となる。なお、式（５）は、式（１）において、Ｔｂ（ｔ）が、表面の温度上昇分（Ｔａ

（ｔ）－Ｔａ（０））の約９８％に到達するまでの時間をΔｔとしている。より厳密には表面温度Ｔａ（ｔ）をＴ１（＝１４５０℃）に維持できる時間は材料が固体から液体に変態するに必要な潜熱の吸収とその間の熱伝導による拡散熱量により決まる時間になり、その後、表面温度Ｔａ（ｔ）は上昇を始める。これにより下表面の温度Ｔｂ（ｔ）も上昇し融点以上に達することができる。また、表面温度Ｔａ（ｔ）を観測し、表面温度Ｔａ（ｔ）が材料の融点＋２％～１０％の範囲になるようにビームの照射エネルギーを制御する方法でも本願の意図する穏やかな溶融を実現できる。ここでは、材料毎の密度、比熱、熱伝導率、厚みと必要時間Δｔの関係を式（５）によりパラメータ比較（定性比較）でき、かつ相対的な定量比較できることを重視している。一実施形態において、穏やかな条件による造形を実現するために、ビームの照射時間が約２τｃから約４τｃの間で、材料の下表面の温度が融点に到達するように、ビームの強度および材料上でのビームサイズを決定してもよい。あるいは、ビームの照射時間を約３τｃから約４τｃの間で穏やかな条件による造形を実現するようにビームの強度および材料上でのビームサイズを決定してもよい。

【００２７】

式（４）および式（５）から分かるように、τｃは材料の厚さδの２乗に比例するので、材料の厚さδを小さくすれば時定数τｃが小さくなり、その結果、Δｔも小さくなる。すなわち、粉体材料を用いるＡＭ法において造形時間を短縮するためには、材料の厚さδを小さくすることが望ましい。一例として、材料粉末としてＳＵＳとし、材料の厚さδ＝０．０５ｍｍとすると、

ρ＝７９００［ｋｇ／ｍ^{3}］

ｃ＝５９０［Ｊ／ｋｇ・Ｋ］

δ＝０．０５×１０$^{－3}$［ｍ］

λ＝１７［Ｗ／ｍ・Ｋ］

を式（４）に代入すると、τｃ＝７９００×５９０×０．０５^{2}×１０$^{－6}$／１７　０．６８５［ｍｓ］となる。また、式（５）からΔｔ　４×τｃ＝２．７４［ｍｓ］となる。

【００２８】

なお、材料粉末を用いる場合、粉末の粒子と粒子との間に界面が存在するので、粒子と粒子との間に接触抵抗が存在する。そこで、接触抵抗　δｇ／λｇと置くと、上述の熱抵抗Ｒは、

式（６）：　Ｒ＝｛（δ／λ）＋（δｇ／λｇ）｝×（１／ΔＡ）＝Ｒ＃×（１／ΔＡ）

と表すことができる。

ここでＲ＃は

式（７）：　Ｒ＃＝（δ×λｇ＋δｇ×λ）／（λ×λｇ）

である。

式（３）のように熱抵抗Ｒが（厚さ／熱伝導率）×（１／ΔＡ）で表されるので、式（７）のＲ＃は、同様に（δ×λｇ＋δｇ×λ）を「相当厚さ」とし、（λ×λｇ）を「相当熱伝導率」と考えることができる。

【００２９】

図５は、材料粉末がｎ層の粒子で積層されている様子を模式的に示す図である。それぞれの層におけるδ、λ、δｇ、λｇが同一であるとすると、ｎ層の全体にわたるＲ＃は、

式（８）：　Ｒ＃＝（δ×λｇ＋δｇ×λ）×ｎ／（λ×λｇ）

となる。

相当厚さ（δ×λｇ＋δｇ×λ）をΔとし、上述のΔｔを求めると、

式（９）：　Δｔ　４τｃ＝４×ρ×ｃ×δ×ｎ×（Δ×ｎ）／（λ×λｇ）＝４×ρ×ｃ×δ×ｎ^{2}／（λ×λｇ）

となる。

【００３０】

式（９）から分かるように、τｃおよびΔｔは粉体粒子の層の数ｎの２乗に比例するので、層の数ｎを小さくすれば時定数τｃが小さくなり、その結果、Δｔも小さくなる。粉体材料を用いるＡＭ法において造形時間を短縮するためには、材料粉末の粒子の層の数ｎ

を小さくすることが望ましい。
【００３１】
上述の検討から、材料粉末を用いるＡＭ法において、ヒュームやスパッタの発生を抑制しつつ造形時間を短くするには、材料粉末を積層させる厚さを小さくすることが望ましい。また、積層させる粉体粒子の層数ｎは１であることが望ましい。さらに、積層させる粉体粒子の層数ｎを小さくすることで、照射側から見たときの粉体粒子の隙間から、既に造形された下の層が見える状態となる。そのため、溶融させる材料粉末と既に造形されている下層の材料表面に直接ビームを照射できるようになり、造形時間を短縮することができると考えられる。
【００３２】
また、材料粉末の粒径分布が広いと、ビームの走査速度は大きな粒径に対応して決定する必要があるので、造形時間が長くなる。そのため、材料粉末の粒径分布は狭い方が望ましい。一実施形態において、標準偏差が中心粒径の約５％程度になるように材料粉末１５２を分級するとよい。一実施形態において、図１に示されるＡＭ装置１００は、分級機２５０を備えることができる。分級機２５０を用いることで、粒径分布の狭い粉体材料を用意することができる。また、中心粒径の異なる複数のクラスの材料粉末を用意することができる。異なる中心粒径の粉体材料に対して、異なるビームの走査速度を用いることで、中心粒径に応じた最適な走査速度で造形を行うことができる。中心粒径の異なる材料粉末を上述の各貯蔵容器１５４に保持させることができる。
【００３３】
さらに、ビームの走査速度Ｆは、材料粉末の下面まで熱が伝導する時間を考慮すると、ビームの走査方向におけるビームスポットの寸法をｄとし、
式（１０）：　Ｆ≦ｄ／Δｔ
とすることが望ましい。
【００３４】
造形時間をより短くするために、ビームスポットを楕円形とし、長軸方向を走査方向とすることでビームの走査速度Ｆを大きくすることができる。さらに、ビームプロファイルはガウシアン形状よりもトップハット形状にすることが望ましい。トップハット形状のビーム形状とすることで、より平均的な溶融を可能にできる。ビームの形状は、上述のビームシェイパ１７３により行うことができる。
【００３５】
上述したように、図１に示されるＡＭ装置１００は、造形レシピ決定装置２０２を備える。一実施形態において、造形レシピ決定装置２０２は、以下の機能を備える。造形レシピ決定装置２０２は、
標準ビーム径または走査方向の長さ：ｄ０
標準ビーム幅（走査方向に直行する幅）：ｗ０
標準ビーム出力：Ｐ０
を設定値として保持する。
造形レシピ決定装置２０２は、材料粉末１５２の材質、粒径、敷き詰める厚さから時定数τｃを算出する。
造形レシピ決定装置２０２は、敷き詰めた材料粉末１５２を溶融するために必要な時間Δｔを算出する。Δｔは、
式（１１）：　Δｔ＝ａ１×４×τｃ［ｓｅｃ］
とする。ａ１は補正係数であり、たとえば１．０とする。
ビーム照射面積Ｓは、ビームの走査方向の長さｄおよび走査方向に直行する幅ｗからＳ＝ｄ×ｗで計算される。造形レシピ決定装置２０２は、ビーム照射面積Ｓ＝ｄ×ｗ、積層厚さδで敷き詰められた材料粉末１５２を溶融温度ΔＴまで加熱するのに最低限必要な熱エネルギーＱを計算する。Ｑは、
式（１２）：　Ｑ＝ａ２×Ｓ×δ×ρ×ｃ×ΔＴ［Ｊ］
により計算される。ａ２は補正係数であり、たとえば１．０とする。

造形レシピ決定装置２０２は、ビームの走査速度Ｆを初期計算値としてＦ＝ｄ０／Δｔにより算出する。

【００３６】

制御装置２００に入力された三次元データＤ１から、幅ΔＹ、奥行きΔＸのある領域をある時間ｔａ以内に造形させたい場合を考える。

造形レシピ決定装置２０２は、この領域の造形にかかる時間ｔｃａｌを

式（１３）：　ｔｃａｌ＝ａ３×（ΔＸ／Ｆ）×（ΔＹ／ｗ０）　［ｓｅｃ］

により計算する。ａ３は補正係数であり、たとえば１．２である。補正係数ａ３は、ビームを走査するときに幅ｗ方向の重なりに対応する。

ｔｃａｌ≦ｔａとなれば、造形レシピ決定装置２０２は、標準ビーム寸法（ｄ０、ｗ０）および初期計算値のビーム走査速度Ｆで造形できると判断する。

一方、ｔｃａｌ＞ｔａであれば、造形レシピ決定装置２０２は、ビームの走査方向の長さｄ、および／または、走査方向に直行する幅ｗを変更してｔｃａｌ≦ｔａとなるビーム寸法（ｄ、ｗ）を決定する。たとえば、走査速度Ｆを固定してｔｃａｌを小さくするときは幅ｗを変更する。また、走査速度Ｆを大きくしてｔｃａｌを小さくするときは長さｄを変更する。

【００３７】

なお、補正係数ａ１、ａ２、ａ３はシミュレーションおよび／または実験により最適な値を決定してもよい。

【００３８】

造形レシピ決定装置２０２は、ビーム面積Ｓに比例してビーム発生源の出力Ｐを決定して、エネルギー密度が一定になるようにレシピを決定する。また、造形する形状が細かい場合は、ビーム寸法（ｄ、ｗ）を小さくし、エネルギー密度が一定になるようにビームのパワーＰを下げて造形を行うようにレシピを決定する。

【００３９】

以上、いくつかの例に基づいて本発明の実施形態について説明してきたが、上記した発明の実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定するものではない。本発明は、その趣旨を逸脱することなく、変更、改良され得るとともに、本発明には、その均等物が含まれることはもちろんである。また、上述した課題の少なくとも一部を解決できる範囲、または、効果の少なくとも一部を奏する範囲において、特許請求の範囲および明細書に記載された各構成要素の任意の組み合わせ、または、省略が可能である。

【００４０】

上述の実施形態から少なくとも以下の技術的思想が把握される。

［形態１］形態１によれば、造形物を製造するためのＡＭ装置が提供され、かかるＡＭ装置は、造形物の材料にビームを照射するためのビーム源と、ビームの強度を調整するための調整装置と、材料上でのビームサイズを調整する、ビーム調整機構と、造形レシピ決定装置と、を有し、前記造形レシピ決定装置は、造形物の材料の特性に基づいてビームの強度および材料上でのビームサイズを決定するように構成されている。

【００４１】

［形態２］形態２によれば、形態１によるＡＭ装置において、前記造形物の材料の特性は、密度（ρ）、比熱（ｃ）、熱伝導率（λ）、および厚さ（δ）を含む。

【００４２】

［形態３］形態３によれば、形態１または形態２によるＡＭ装置において、前記造形レシピ決定装置は、造形物の材料の熱伝導の時定数をτｃとするときに、ビームの照射時間が約２τｃから約４τｃの間で造形物の材料が溶融温度に到達するようにビームの強度および材料上でのビームサイズを決定するように構成されている。

【００４３】

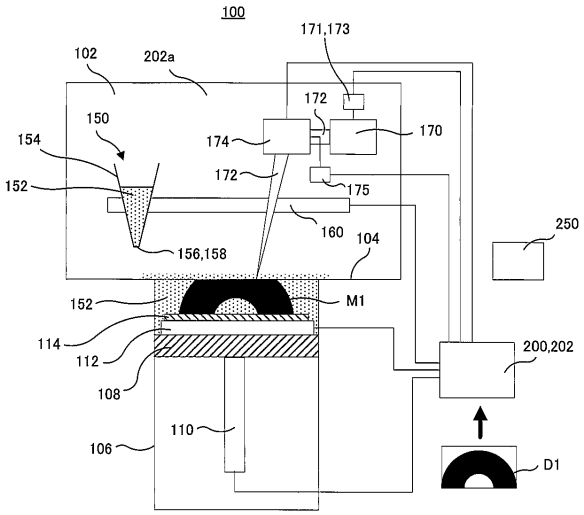
［形態４］形態４によれば、形態１から形態３のいずれか１つの形態によるＡＭ装置において、前記造形レシピ決定装置は、造形物の材料の表面温度が融点＋２％から１０％の

温度となるように、ビームの強度および材料上でのビームサイズを決定する。
【００４４】
［形態５］形態５によれば、形態１から形態４のいずれか１つの形態によるＡＭ装置において、前記造形物の材料は粉体であり、前記ＡＭ装置はさらに、前記粉体を粒子径の異なる複数のクラスに分級するための分級機を有する。
【００４５】
［形態６］形態６によれば、形態５によるＡＭ装置において、前記造形レシピ決定装置は、前記粉体の粒子径に応じてビームの強度および材料上でのビームサイズを決定するように構成されている。
【００４６】
［形態７］形態７によれば、ＡＭ法により造形物を製造する方法が提供され、かかる方法は、造形物の材料を用意する工程と、造形物の材料の特性に基づいてビームの強度および材料上でのビームサイズを決定する工程と、決定されたビーム強度およびビームサイズで材料上にビームを照射する工程と、を有する。
【００４７】
［形態８］形態８によれば、形態７による方法において、前記造形物の材料の特性は、密度（ρ）、比熱（ｃ）、熱伝導率（λ）、および厚さ（δ）を含む。
【００４８】
［形態９］形態９によれば、形態７または形態８による方法において、造形物の材料の熱伝導の時定数をτｃとするときに、ビームの照射時間が約２τｃから約４τｃの間で造形物の材料が溶融温度に到達するようにビームの強度および材料上でのビームサイズを決定する。
【００４９】
［形態１０］形態１０によれば、形態７から形態９のいずれか１つの形態による方法において、造形物の材料の表面温度が融点＋２％から１０％の温度となるように、ビームの強度および材料上でのビームサイズを決定する。
【００５０】
［形態１１］形態１１によれば、形態７から形態１０のいずれか１つの形態による方法において、前記造形物の材料は粉体であり、前記方法はさらに、前記粉体を粒子径の異なる複数のクラスに分級する工程を有する。
【００５１】
［形態１２］形態１２によれば、形態１１による方法において、前記粉体の粒子径に応じてビームの強度および材料上でのビームサイズを決定する。
【符号の説明】
【００５２】
１０２…プロセスチャンバ
１０６…ビルドアップチャンバ
１０８…リフトテーブル
１１０…駆動機構
１１２…ステージ
１１４…ベースプレート
１５０…材料供給機構
１５２…材料粉末
１５４…貯蔵容器
１６０…移動機構
１７０…レーザー光源
１７１…調整装置
１７２…レーザー
１７３…ビームシェイパ
１７４…走査機構

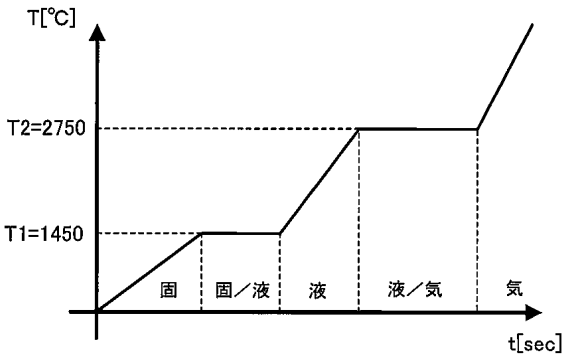
２００…制御装置
２０２…造形レシピ決定装置
Ｄ１…三次元データ
Ｍ１…造形物

【図面】

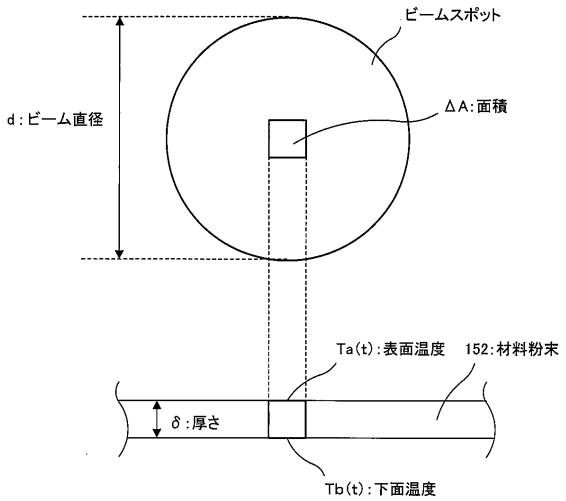
【図１】



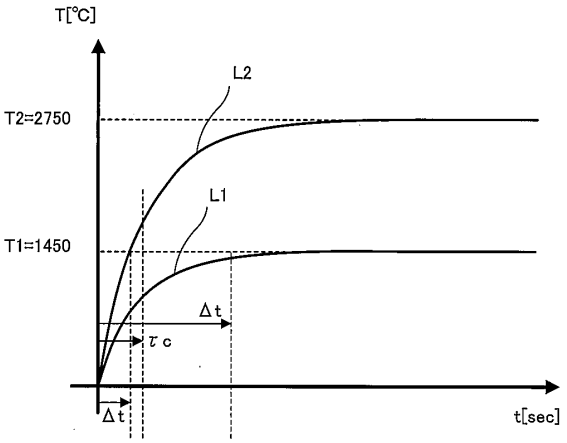
【図２】



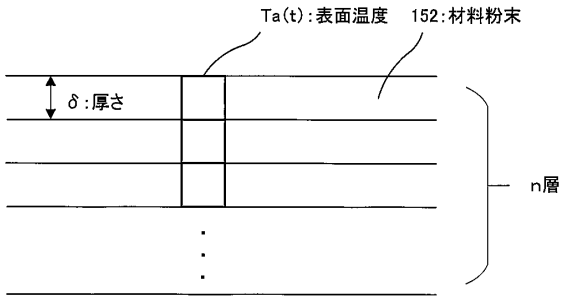
【図３】



【図４】



【図５】



フロントページの続き

(51)国際特許分類		FI	
B29C	*64/393 (2017.01)*	B29C	64/393
B29C	*64/268 (2017.01)*	B29C	64/268
B33Y	*40/00 (2020.01)*	B33Y	40/00
B29C	*64/321 (2017.01)*	B29C	64/321
B22F	*10/37 (2021.01)*	B22F	10/37
B22F	*12/00 (2021.01)*	B22F	12/00

(56)参考文献 特許第６３６３２９３（ＪＰ，Ｂ２）
米国特許出願公開第２０１６／００５９３５２（ＵＳ，Ａ１）
特表２０１６－５１６８８８（ＪＰ，Ａ）
特開２０１９－０６４２２６（ＪＰ，Ａ）
特表２０００－５０４６４２（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｂ２２Ｆ １０／００
Ｂ２２Ｆ １２／００