(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7563481号
(P7563481)

(45)発行日　令和6年10月8日(2024.10.8)

(24)登録日　令和6年9月30日(2024.9.30)

(51)国際特許分類

		FI	
B22F	*12/40 (2021.01)*	B22F	12/40
B22F	*10/28 (2021.01)*	B22F	10/28
B22F	*10/366 (2021.01)*	B22F	10/366
B29C	*64/153 (2017.01)*	B29C	64/153
B29C	*64/268 (2017.01)*	B29C	64/268

請求項の数　6　（全15頁）　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2022-565502(P2022-565502)
(86)(22)出願日　令和3年11月30日(2021.11.30)
(86)国際出願番号　PCT/JP2021/043789
(87)国際公開番号　WO2022/114210
(87)国際公開日　令和4年6月2日(2022.6.2)
審査請求日　令和5年5月17日(2023.5.17)
(31)優先権主張番号　特願2020-198791(P2020-198791)
(32)優先日　令和2年11月30日(2020.11.30)
(33)優先権主張国・地域又は機関
日本国(JP)

(73)特許権者　000000099
株式会社ＩＨＩ
東京都江東区豊洲三丁目１番１号
(74)代理人　100088155
弁理士　長谷川 芳樹
(74)代理人　100113435
弁理士　黒木 義樹
(74)代理人　100170818
弁理士　小松 秀輝
(74)代理人　100224546
弁理士　小松 龍
(72)発明者　永田 佳彦
東京都江東区豊洲三丁目１番１号 株式会社ＩＨＩ内
(72)発明者　モハラ ギョーム
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　三次元造形装置及び三次元造形方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

造形材料にエネルギビームを照射して前記造形材料を溶融させ積層することにより三次元の物体を造形する三次元造形装置において、

前記造形材料を溶解するための前記エネルギビームを出射し、前記造形材料を溶解するための前記エネルギビームを前記造形材料に照射させるビーム出射部を備え、

前記ビーム出射部は、前記物体の断面である造形領域のうち少なくとも輪郭部分において、前記造形領域の輪郭線に対し直交する方向に、前記造形材料を溶解するための前記エネルギビームを走査させて前記造形材料に照射することにより、前記物体の少なくとも輪郭部分を造形する、

三次元造形装置。

【請求項２】

前記ビーム出射部は、前記造形領域のうち前記輪郭部分より内側に形成される内側部分で一定の方向に沿って前記エネルギビームを走査させて前記造形材料に照射する、

請求項１に記載の三次元造形装置。

【請求項３】

前記ビーム出射部は、前記輪郭部分に設定される複数の照射経路に対し前記エネルギビームの照射を行い、前記照射経路に前記エネルギビームを照射した後、隣接する照射経路を飛び越して他の照射経路に前記エネルギビームの照射を行う、

請求項１又は２に記載の三次元造形装置。

【請求項４】
前記ビーム出射部は、前記輪郭部分に設定される複数の照射経路に対し前記エネルギビームの照射を行い、前記照射経路に前記エネルギビームを照射した後、アイドル時間を設けて、隣接する照射経路を飛び越して他の照射経路に前記エネルギビームの照射を行い、又は前記隣接する照射経路に前記エネルギビームの照射を行う、
請求項１又は２に記載の三次元造形装置。
【請求項５】
前記ビーム出射部は、前記輪郭部分に設定される複数の照射経路に対し前記エネルギビームの照射を行い、前記複数の照射経路のそれぞれについて同一方向に向けて前記エネルギビームの照射を行う、
請求項１～４のいずれか一項に記載の三次元造形装置。
【請求項６】
造形材料にエネルギビームを照射して前記造形材料を溶融させ積層することにより三次元の物体を造形する三次元造形方法において、
前記造形材料を溶解するための前記エネルギビームを出射し、前記造形材料を溶解するための前記エネルギビームを前記造形材料に照射させる照射工程を含み、
前記照射工程にて、前記物体の断面である造形領域のうち少なくとも輪郭部分において、前記造形領域の輪郭線に対し直交する方向に、前記造形材料を溶解するための前記エネルギビームを走査させて前記造形材料に前記エネルギビームを照射させることにより、前記物体の少なくとも輪郭部分を造形する、
三次元造形方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、三次元の物体を造形する三次元造形装置及び三次元造形方法を説明する。
【背景技術】
【０００２】
従来、三次元造形装置及び三次元造形方法として、例えば、米国特許第５１５５３２４号明細書に記載された三次元の物体を造形する装置及び方法が知られている。この装置及び方法は、粉末材料にレーザビームを照射することによって、粉末材料を焼結させながら、当該焼結した粉末材料を積層させる。この装置及び方法で採用されるビームの照射パターンは、断面の輪郭に沿ったパターン（コンター）と輪郭の内側を塗りつぶすパターン（ハッチング）と、を含む。この装置及び方法では、まずレーザビームを物体の断面の輪郭線に沿って照射する。次に、輪郭線の内側の部分にレーザビームを一定の方向に沿って往復させながらレーザビームを照射することによって、物体の造形を行っている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【文献】米国特許第５１５５３２４号明細書
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
このような三次元造形の装置及び方法は、物体の造形を効率良く行うことが難しい。物体の断面へのビームの照射を、断面の輪郭に沿ったパターンと輪郭の内側を塗りつぶすパターンとに分けると、各パターンでビームの強度及び走査速度を変更する必要がある。例えば、輪郭に沿ったビームの照射は、弱いビームを低速で走査する。内側へのビームの照射は、強いビームを高速で走査する。このとき、輪郭に沿ったビームの照射には、長い時間を要するので、物体の造形を効率良く行うことができない。
【０００５】
そこで、本開示は、物体の造形を効率良く行うことが可能な三次元造形装置及び三次元

造形方法を説明する。
【課題を解決するための手段】
【０００６】
本開示の一態様である三次元造形装置は、造形材料にエネルギビームを照射して造形材料を溶融させ積層することにより三次元の物体を造形する。三次元造形装置は、エネルギビームを出射し、エネルギビームを造形材料に照射させるビーム出射部を備える。ビーム出射部は、物体の断面である造形領域のうち少なくとも輪郭部分において、造形領域の輪郭線に対し直交する方向にエネルギビームを走査させて造形材料に照射するように構成されている。この三次元造形装置は、造形領域の輪郭部分において造形領域の輪郭線に対し直交する方向にエネルギビームを走査しながら、エネルギビームを造形材料に照射する。その結果、輪郭部分に対して、エネルギビームを高速で走査するビーム照射を行うことができる。このため、輪郭部分へのビームの照射を短時間で完了することができる。従って、三次元造形装置は、物体を効率良く造形することができる。
【０００７】
本開示の一態様である三次元造形装置のビーム出射部は、造形領域のうち輪郭部分より内側に形成される内側部分で一定の方向に沿ってエネルギビームを走査させて造形材料に照射してもよい。この場合、造形領域のうち内側部分で一定の方向に沿ってエネルギビームを走査させながら、エネルギビームを造形材料に照射する。その結果、内側部分におけるビーム照射を短時間で完了させることができる。従って、物体の造形を短時間で行うことができる。
【０００８】
本開示の一態様である三次元造形装置のビーム出射部は、輪郭部分に設定される複数の照射経路に対しエネルギビームの照射を行ってもよい。ビーム出射部は、照射経路にエネルギビームを照射した後、隣接する照射経路を飛び越して他の照射経路にエネルギビームの照射を行ってもよい。この場合、照射経路にエネルギビームを照射した後、隣接する照射経路を飛び越して他の照射経路にエネルギビームの照射を行う。その結果、エネルギビームの照射による熱の集中を抑制することができる。従って、物体の不適切な造形を抑制することができる。
【０００９】
本開示の一態様である三次元造形装置のビーム出射部は、輪郭部分に設定される複数の照射経路に対しエネルギビームの照射を行ってもよい。ビーム出射部は、照射経路にエネルギビームを照射した後、アイドル時間を設けて、隣接する照射経路を飛び越して他の照射経路にエネルギビームの照射を行い、又は隣接する照射経路にエネルギビームの照射を行ってもよい。この場合、エネルギビームの照射にアイドル時間を設ける。その結果、エネルギビームの照射による熱の集中を抑制することができる。従って、物体の不適切な造形を抑制することができる。
【００１０】
本開示の一態様である三次元造形装置のビーム出射部は、輪郭部分に設定される複数の照射経路に対しエネルギビームの照射を行ってもよい。ビーム出射部は、複数の照射経路のそれぞれについて同一方向に向けてエネルギビームの照射を行ってもよい。この場合、照射経路のそれぞれについて同一方向に向けてエネルギビームの照射を行う。その結果、エネルギビームの照射による熱の集中を抑制することができる。従って、物体の不適切な造形を抑制することができる。
【００１１】
本開示の一態様に係る三次元造形方法は、造形材料にエネルギビームを照射して造形材料を溶融させ積層することにより三次元の物体を造形する。三次元造形方法は、エネルギビームを出射し、エネルギビームを造形材料に照射させる照射工程を含み、照射工程にて、物体の断面である造形領域のうち少なくとも輪郭部分において、造形領域の輪郭線に対し直交する方向にエネルギビームを走査させて造形材料にエネルギビームを照射させるように構成されている。この三次元造形方法によれば、造形領域の輪郭部分において造形領

域の輪郭線に対し直交する方向にエネルギビームを走査しながら、エネルギビームを造形材料に照射する。その結果、輪郭部分に対して、エネルギビームを高速で走査するビーム照射を行うことができる。このため、輪郭部分へのビームの照射を短時間で完了することができる。従って、物体を効率良く造形することができる。

【発明の効果】

【００１２】

本開示の三次元造形装置及び三次元造形方法は、物体の造形を効率良く行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

【図１】図１は、本開示の実施形態である三次元造形装置の構成概要図である。

【図２】図２は、図１の三次元造形装置におけるビームの照射の説明図である。

【図３】図３は、図１の三次元造形装置におけるビームの照射の説明図である。

【図４】図４は、図１の三次元造形装置におけるビームの照射の説明図である。

【図５】図５は、本開示の実施形態である三次元造形装置の動作及び三次元造形方法を示すフローチャートである。

【図６】図６は、図１の三次元造形装置の変形例であるビームの照射の説明図である。

【図７】図７は、図１の三次元造形装置の変形例であるビームの照射の説明図である。

【発明を実施するための形態】

【００１４】

以下、本開示の実施形態について、図面を参照しながら説明する。なお、図面の説明において同一要素には同一符号を付し、重複する説明は省略する。

【００１５】

図１は、本開示の実施形態である三次元造形装置の構成概要図である。三次元造形装置１は、粉末材料Ａに電子ビームＢを照射することによって粉末材料Ａを溶融させる。そして、三次元造形装置１は、溶融の後に固化した粉末材料Ａを積層する。その結果、三次元の物体Ｏが造形される。三次元造形装置１は、粉末床溶融結合法（PBF: Powder Bed Fusion）を用いる。三次元造形装置１は、エネルギビームとして電子ビームＢを用いる。三次元造形装置１は、電子ビーム積層造形(EBM: Electron Beam Melting)によって物体Ｏを造形する。粉末材料Ａは、物体を造形するための造形材料である。粉末材料Ａは、多数の粉末体により構成される。粉末材料Ａとしては、例えば金属製の粉末が用いられる。粉末材料Ａとしては、電子ビームＢの照射により溶融及び凝固できるものであれば、粉末より粒径の大きい粒体を用いてもよい。電子ビームＢは、粉末材料Ａを溶解するためのエネルギビームである。

【００１６】

三次元造形装置１は、ビーム出射部２、造形部３及び制御部４を備える。ビーム出射部２は、造形部３の粉末材料Ａに対し電子ビームＢを出射する。つまり、ビーム出射部２は、粉末材料Ａを溶融させる。電子ビームＢは、電子の直線的な運動により形成される。例えば、ビーム出射部２は、粉末材料Ａに電子ビームＢを照射することによって、粉末材料Ａの予備加熱を行う。次に、ビーム出射部２は、粉末材料Ａに電子ビームＢを照射することによって、粉末材料Ａを溶融させる。その結果、三次元の物体Ｏの造形が行われる。

【００１７】

ビーム出射部２は、例えば、電子銃部２１、収差コイル２２、フォーカスコイル２３及び偏向コイル２４を有する。電子銃部２１は、制御部４と電気的に接続されている。電子銃部２１は、制御部４からの制御信号を受けて作動する。電子銃部２１は、電子ビームＢを出射する。電子銃部２１は、例えば、下方に向けて電子ビームＢを出射するように設けられている。収差コイル２２は、制御部４と電気的に接続されている。収差コイル２２は、制御部４からの制御信号を受けて作動する。収差コイル２２は、電子銃部２１から出射される電子ビームＢの周囲に設置される。収差コイル２２は、電子ビームＢの収差を補正する。フォーカスコイル２３は、制御部４と電気的に接続される。フォーカスコイル２３

は、制御部４からの制御信号を受けて作動する。フォーカスコイル２３は、電子銃部２１から出射される電子ビームＢの周囲に設置される。フォーカスコイル２３は、電子ビームＢを収束させる。フォーカスコイル２３は、、電子ビームＢの照射位置におけるフォーカス状態を調整する。偏向コイル２４は、制御部４と電気的に接続される。偏向コイル２４は、制御部４からの制御信号を受けて作動する。偏向コイル２４は、電子銃部２１から出射される電子ビームＢの周囲に設置される。偏向コイル２４は、制御信号に応じて電子ビームＢの照射位置を調整する。偏向コイル２４は、電磁的なビーム偏向を行うため、機械的なビーム偏向と比べて、電子ビームＢの照射時における走査速度が高速である。電子銃部２１、収差コイル２２、フォーカスコイル２３及び偏向コイル２４は、例えば、筒状を呈するコラム２６内に設置される。なお、収差コイル２２の設置を省略する場合もある。また、ビーム出射部２は、電子ビームＢを出射可能であれば、上述した構成のものと異なるものであってもよい。

【００１８】

造形部３は、所望の物体Ｏを造形する部位である。造形部３は、例えばビーム出射部２の下方に設けられている。造形部３は、箱状のチャンバ３０を備えている。造形部３は、チャンバ３０内に配置されたプレート３１、昇降機３２、粉末供給機構３３及びホッパ３４を有している。チャンバ３０は、コラム２６と結合されている。チャンバ３０の内部空間は、電子銃部２１が配置されるコラム２６の内部空間と連通している。

【００１９】

プレート３１は、造形される物体Ｏを支持する。プレート３１上では、物体Ｏが造形される。プレート３１は、造形されていく物体Ｏを支持する。プレート３１は、例えば円形の板状体のものが用いられる。プレート３１は、電子ビームＢの出射方向の延長線上に配置される。プレート３１は、例えば水平方向に向けて設けられる。プレート３１は、下方に設置される昇降ステージ３５に支持されるように配置されている。プレート３１は、昇降ステージ３５と共に上下方向に移動する。昇降機３２は、昇降ステージ３５及びプレート３１を昇降させる機器である。昇降機３２は、制御部４と電気的に接続されている。昇降機３２は、制御部４からの制御信号を受けて作動する。例えば、昇降機３２は、物体Ｏの造形の初期において昇降ステージ３５と共にプレート３１を上部へ移動させる。昇降機３２は、プレート３１上で溶融した後に凝固した粉末材料Ａが積層されるごとにプレート３１を降下させる。昇降機３２は、プレート３１を昇降できる機構であれば、いずれの機構のものを用いてもよい。

【００２０】

プレート３１は、造形タンク３６内に配置されている。造形タンク３６は、チャンバ３０内の下部に設置される収容体である。造形タンク３６は、例えば、円筒状に形成されている。造形タンク３６は、プレート３１の移動方向に向けて延びている。造形タンク３６は、プレート３１と同心円状の断面円形に形成される。造形タンク３６の内側形状に合わせて、昇降ステージ３５が形成される。造形タンク３６の内側形状が水平断面で円形の場合、昇降ステージ３５の外形も円形である。その結果、造形タンク３６に供給される粉末材料Ａが昇降ステージ３５の下方へ漏れ落ちることを抑制しやすくなる。粉末材料Ａが昇降ステージ３５の下方へ漏れ落ちることを抑制するために、昇降ステージ３５の外縁部にシール材を設けてもよい。造形タンク３６の形状は、円筒状に限定されない。造形タンク３６の形状は、断面矩形の角筒状であってもよい。

【００２１】

粉末供給機構３３は、プレート３１の上方に粉末材料Ａを供給すると共に粉末材料Ａの表面を均す。粉末供給機構３３は、リコータとして機能する。例えば、粉末供給機構３３は、棒状又は板状の部材が用いられる。粉末供給機構３３は、水平方向に移動することにより電子ビームＢの照射領域に粉末材料Ａを供給すると共に粉末材料Ａを敷き均す。粉末供給機構３３の移動は、図示しないアクチュエータ及び機構により制御される。粉末材料Ａを均す機構としては、粉末供給機構３３以外の機構を用いることができる。ホッパ３４は、粉末材料Ａを収容する収容器である。ホッパ３４の下部には、粉末材料Ａを排出する

排出口３４ａが形成されている。排出口３４ａから排出された粉末材料Ａは、プレート３１上へ流入する。または、排出口３４ａから排出された粉末材料Ａは、粉末供給機構３３によりプレート３１上へ供給される。プレート３１、昇降機３２、粉末供給機構３３及びホッパ３４は、チャンバ３０内に設置される。チャンバ３０内は、真空又はほぼ真空な状態である。プレート３１上に粉末材料Ａを層状に供給する機構としては、粉末供給機構３３及びホッパ３４以外の機構を用いることができる。

【００２２】

制御部４は、三次元造形装置１の装置全体の制御を行う電子制御ユニットである。制御部４は、例えばＣＰＵ、ＲＯＭ、ＲＡＭを含むコンピュータを含んで構成される。制御部４は、プレート３１の昇降制御、粉末供給機構３３の作動制御、電子ビームＢの出射制御、及び偏向コイル２４の作動制御を行う。制御部４は、プレート３１の昇降制御として、昇降機３２に制御信号を出力することによって昇降機３２を作動させる。その結果、プレート３１の上下方向に沿った位置が調整される。制御部４は、粉末供給機構３３の作動制御として、電子ビームＢの出射前に粉末供給機構３３を作動させる。その結果、プレート３１上へ粉末材料Ａが供給されると共に粉末材料Ａが敷き均される。制御部４は、電子ビームＢの出射制御として、電子銃部２１に制御信号を出力する。その結果、電子銃部２１から電子ビームＢが出射される。

【００２３】

制御部４は、偏向コイル２４の作動制御として、偏向コイル２４に制御信号を出力する。その結果、電子ビームＢの照射位置が制御される。例えば、粉末材料Ａの予備加熱を行う場合、制御部４は、ビーム出射部２の偏向コイル２４に制御信号を出力することによって、プレート３１に対し電子ビームＢを走査させながら、電子ビームＢを照射させる。物体Ｏの造形を行う場合、制御部４は、ビーム出射部２の偏向コイル２４に制御信号を出力することによって、プレート３１上の粉末材料Ａに対し電子ビームＢを走査させながら、電子ビームＢを照射させる。

【００２４】

図２は、プレート３１を上方から見た図である。図２は、粉末材料Ａに対する電子ビームＢの照射を示す。図２において、プレート３１の範囲内に造形領域Ｍが設定される。造形領域Ｍは、物体Ｏの断面の領域である。造形領域Ｍは、物体Ｏの造形時に電子ビームＢを照射すべき領域である。造形領域Ｍ内の矢印は、電子ビームＢの照射経路及び照射方向を示している。例えば、照射経路は直線状に設定される。この図２では、説明の便宜上、プレート３１上に敷設される粉末材料Ａの図示を省略している。

【００２５】

造形領域Ｍは、輪郭部分Ｍ１と内側部分Ｍ２とを有している。輪郭部分Ｍ１は、造形領域Ｍの輪郭線Ｃの近傍の領域である。例えば、輪郭部分Ｍ１は、輪郭線Ｃから内側へ所定の距離までの領域である。輪郭部分Ｍ１は、輪郭線Ｃの全範囲に沿う。輪郭部分Ｍ１は、輪郭線Ｃの全範囲の内側の領域である。しかしながら、輪郭部分Ｍ１は、輪郭線Ｃに部分的な凸部や凹部がある場合など、その部分の所定の距離の長さが変更される場合もある。輪郭部分Ｍ１は、輪郭線Ｃに部分的な凸部や凹部がある場合など、その部分の輪郭部分Ｍ１が部分的に省略される場合もある。内側部分Ｍ２は、輪郭部分Ｍ１より造形領域Ｍの内側に設定される中央の領域である。

【００２６】

輪郭部分Ｍ１と内側部分Ｍ２には複数の照射経路が設定されている。輪郭部分Ｍ１の電子ビームＢの照射パターンは、内側部分Ｍ２の電子ビームＢの照射パターンと異なっている。輪郭部分Ｍ１では、造形領域Ｍの輪郭線Ｃに対し直交する方向に照射経路が設定される。輪郭部分Ｍ１では、輪郭線Ｃに対し直交する方向に電子ビームＢが走査されながら、電子ビームＢが照射される。つまり、輪郭部分Ｍ１では、輪郭線Ｃに対し直交する方向に複数の照射経路が設定される。その結果、それぞれの照射経路に沿って電子ビームＢが順次照射される。このとき、輪郭線Ｃが湾曲している場合など、照射位置によって電子ビームＢの走査方向が異なる。すなわち、輪郭線Ｃが曲がっている場合、照射経路に沿って順

次ビーム照射を行っていくと、照射経路の方向が変わる。その結果、電子ビームＢの走査方向が変化する。なお、輪郭線Ｃが曲がっている場合であっても、照射経路は、隣接する照射経路の方向を変えず複数の照射経路が平行になるように設定される場合もある。

【００２７】

これに対し、内側部分Ｍ２では、一定の方向に沿って照射経路が設定される。その結果、一定の方向に沿って電子ビームＢが走査されながら、電子ビームＢが照射される。例えば、内側部分Ｍ２では、プレート３１上に設定されたＸＹ座標系のＸ方向に沿って照射経路が設定される。その結果、この照射経路に沿って電子ビームＢが走査されながら、電子ビームＢが照射される。内側部分Ｍ２では、一定の方向に沿って電子ビームＢを往復させながら電子ビームＢを走査する。その結果、電子ビームＢを短時間で照射することができる。輪郭部分Ｍ１においても、輪郭線Ｃに対し直交する方向に電子ビームＢを往復させながら走査する。その結果、電子ビームＢを短時間で照射することが可能となる。

【００２８】

図２において、輪郭部分Ｍ１では、造形領域Ｍの輪郭線Ｃに対し直交する方向に電子ビームＢが走査される。その結果、輪郭線Ｃに対し直交する方向に往復して電子ビームＢが照射される。直交する方向には、ほぼ直交する方向も含まれる。例えば、電子ビームＢは、輪郭線Ｃに対し９０度の角度で走査されてもよい。電子ビームＢは、輪郭線Ｃに対し４５度から１３５度までの角度の範囲で走査されてもよい。ほぼ直交する方向にビーム照射する場合であっても、電子ビームＢが順次平行な方向又はほぼ平行な方向に往復して走査されることで、電子ビームＢを短時間で照射することができる。

【００２９】

ここで、輪郭部分Ｍ１において、輪郭線Ｃに沿って照射位置を移動させて電子ビームＢを照射する場合を仮定する。この場合には、電子ビームＢを往復させながら電子ビームＢを走査することが難しい。輪郭線Ｃと平行に電子ビームＢを照射することによって輪郭部分Ｍ１を造形する場合、照射速度を優先したビーム条件でなく物体Ｏの面粗度を優先したビーム条件が用いられる。この場合、輪郭線Ｃと平行に弱い電子ビームＢを低速に移動させながら、電子ビームＢを照射する。このため、輪郭部分Ｍ１へのビームの照射に多くの時間を要する。その結果、物体Ｏを効率良く造形することができない。内側部分Ｍ２に対し輪郭部分Ｍ１の電子ビームＢの強度や照射移動速度を変更する必要がある。従って、照射制御の変更がタイムロスとなるので、物体Ｏを効率良く造形することができない。

【００３０】

これに対し、本開示の三次元造形装置１は、輪郭部分Ｍ１において、造形領域Ｍの輪郭線Ｃに対し直交する方向に電子ビームＢを走査する。その結果、輪郭部分Ｍ１への電子ビームＢの照射を短時間で完了させることができる。電子ビームＢの強度及び走査速度を変更せずに、内側部分Ｍ２へ電子ビームＢを照射することが可能である。その結果、効率良く物体Ｏの造形を行うことができる。このとき、輪郭部分Ｍ１へ照射される電子ビームＢの強度及び走査速度は、内側部分Ｍ２に照射される電子ビームＢの強度及び走査速度と同一とである。電子ビームＢの強度及び走査速度が同一であるとは、ほぼ同一も含まれる。つまり、照射制御の変更がほとんどタイムロスとならない程度のほぼ同一な強度及び走査速度であれば、物体Ｏを効率良く造形することが可能となる。

【００３１】

図３は、電子ビームＢの照射の一例を示している。輪郭部分Ｍ１への電子ビームＢの照射は、照射経路に沿う電子ビームＢの照射を行った後に、隣接する照射経路に沿う電子ビームＢの照射を順次行ってもよい。図３に示すように、輪郭部分Ｍ１への電子ビームＢの照射は、照射経路に沿う電子ビームＢの照射を行った後に、隣接する照射経路を飛び越して、他の照射経路に沿う電子ビームＢの照射を行ってもよい。このような照射を、「飛び越し走査」と称する。図３は、二つの照射経路を飛び越して電子ビームＢを照射する場合について図示している。なお、飛び越す照射経路の数は二つ以外であってもよい。つまり、飛び越し走査を採用した電子ビームＢの照射によって、最終的に輪郭部分Ｍ１に設定される全部の照射経路に沿った電子ビームＢの照射がなされればよい。このような電子ビー

ムＢの照射によれば、照射経路に沿って電子ビームＢを照射することによって、粉末材料Ａを溶融させたときから、隣接する照射経路の粉末材料Ａを溶融させるときまでに適正なタイムラグを発生させることができる。その結果、造形される物体Ｏの面粗度を向上させることができる。つまり、飛び越し走査によれば、互いに離間する照射経路にビームの照射が行われる。その結果、熱が分散されるので、物体Ｏの造形を適切に行うことができる。特に、帯状の輪郭部分Ｍ１において、輪郭部分Ｍ１の幅方向に沿って電子ビームＢを走査する場合、電子ビームＢの照射により熱が集中しやすい。これに対し、飛び越し走査によれば、熱の集中を抑制することが可能である。従って、物体Ｏを適切に造形することができる。

【００３２】

図４は、電子ビームＢの照射の変形例を示している。図２では、輪郭部分Ｍ１において照射経路を折り返して隣接の照射経路を照射した。図４に示すように、全ての照射経路において照射方向を同一方向に統一してもよい。例えば、図４に示すように、電子ビームＢの照射は、輪郭部分Ｍ１の照射経路のそれぞれについて照射方向を輪郭線Ｃから内側へ向かう向きとしてもよい。この場合、ある照射経路に沿ったビームの照射を完了した後に、折り返してすぐに次の照射経路へのビームの照射を開始しない。輪郭線Ｃまで戻った後に、次の照射経路へのビームの照射を開始する。その結果、照射位置の折り返し箇所に熱が集中することを避けることができる。また、照射経路に沿った電子ビームＢの照射によって粉末材料Ａを溶融させたときから、隣接する照射経路に沿った電子ビームＢの照射によって粉末材料Ａを溶融させたときまでに適正なタイムラグを発生させることができる。その結果、造形される物体Ｏの面粗度を向上させることができる。つまり、隣接する照射経路に沿ったビーム照射をすぐに行わない。従って、熱が分散されるので、物体Ｏの造形を適切に行うことができる。なお、図４では、電子ビームＢは、輪郭線Ｃ付近の外側から内側へ向けて照射している。電子ビームＢは、輪郭線Ｃに向け内側から外側へ向けて照射してもよい。図３のように、飛び越し走査を適用して電子ビームＢの照射を行ってもよい。特に、帯状の輪郭部分Ｍ１おいて、輪郭部分Ｍ１の幅方向に沿って電子ビームＢが走査される場合、電子ビームＢの照射により熱が集中しやすい。これに対し、電子ビームＢの照射方向を同一とすることにより、熱の集中を抑制することが可能となる。その結果、物体Ｏを適切に造形することができる。

【００３３】

図４に示すように、照射経路に沿って電子ビームＢを照射することによって粉末材料Ａを溶融させたときから、次の照射経路に沿って電子ビームＢを照射することによって、粉末材料Ａを溶融させたときまでにアイドル時間を設けてもよい。アイドル時間とは、粉末材料Ａに電子ビームＢが実質的に照射されていないとみなす時間である。例えば、図４において、アイドル時間では、破線で示される経路を走査している時に、電子ビームＢの出力を停止する。または、アイドル時間では、破線で示される経路を走査している時に、電子ビームＢの焦点をずらす。その結果、粉末材料Ａが受けるエネルギが実質的に弱まるので、適正な電子ビームＢが照射されていないとみなすことができる。このアイドル時間は、電子ビームＢの照射による熱集中の程度に基づいて、設定される。このように、電子ビームＢの照射にアイドル時間を設けることにより、熱を分散することができる。その結果、物体Ｏの造形を適切に行うことができる。なお、図４では、照射経路に沿って電子ビームＢを照射することによって粉末材料Ａを溶融した後に、隣接する照射経路に沿って電子ビームＢを照射した。例えば、隣接する照射経路を飛び越して他の照射経路に沿って電子ビームＢを照射してもよい。

【００３４】

図１において、制御部４は、物体Ｏの造形を行う場合、例えば造形すべき物体Ｏの三次元ＣＡＤ（Computer-Aided Design）データを用いる。物体Ｏの三次元ＣＡＤデータは、予め入力される物体Ｏの形状データである。制御部４は、三次元ＣＡＤデータに基づいて二次元のスライスデータを生成する。スライスデータは、例えば、造形すべき物体Ｏの水平断面のデータである。スライスデータは、上下位置に応じた多数のデータの集合体で

ある。制御部４は、このスライスデータに基づいて、粉末材料Ａに対し電子ビームＢを照射する造形領域Ｍを設定する。さらに、制御部４は、輪郭部分Ｍ１及び内側部分Ｍ２を設定する。制御部４は、輪郭部分Ｍ１及び内側部分Ｍ２における照射経路及び照射方向を設定する。造形領域Ｍ、輪郭部分Ｍ１、内側部分Ｍ２、照射経路及び照射方向の設定は、各スライスデータごとに行われる。

【００３５】

物体Ｏの造形時において、制御部４は、造形領域Ｍ、輪郭部分Ｍ１、内側部分Ｍ２、照射経路及び照射方向を含む設定データに応じて偏向コイル２４に制御信号を出力する。つまり、制御部４は、ビーム出射部２の偏向コイル２４に制御信号を出力する。その結果、物体形状に応じた造形領域Ｍに対し電子ビームＢが照射される。

【００３６】

次に、本開示の三次元造形装置１の動作及び三次元造形方法について説明する。

【００３７】

図５は、本開示の三次元造形装置１の動作及び三次元造形方法を示すフローチャートである。図５の一連の制御処理は、例えば制御部４によって行われる。

【００３８】

まず、図５のステップＳ１０に示すように、プレート３１の位置設定が行われる。以下、ステップＳ１０は、単に「Ｓ１０」と示す。以下のステップについても同様とする。物体Ｏの造形の初めにおいては、プレート３１の位置は、上方の位置に設定する。そして、物体Ｏの造形が進むに連れて、プレート３１の位置は徐々に下方へ移動する。図１において、制御部４は、昇降機３２に作動信号を出力することによって、昇降機３２を作動させる。これにより、昇降機３２が作動するので、昇降ステージ３５及びプレート３１が昇降する。その結果、プレート３１の位置が設定される。

【００３９】

図５のＳ１２に処理が移行する。Ｓ１２では、粉末材料Ａの供給が行われる。粉末材料Ａの供給は、電子ビームＢの照射領域Ｒに粉末材料Ａを供給すると共に粉末材料Ａを敷き均す処理である。例えば、図１において、制御部４は、図示しないアクチュエータに作動信号を出力することによって、粉末供給機構３３を作動させる。これにより、粉末供給機構３３は水平方向に移動するので、プレート３１上に粉末材料Ａが供給されると共に、粉末材料Ａが敷き均される。

【００４０】

図５のＳ１４に処理が移行する。Ｓ１４では、予備加熱処理が行われる。予備加熱処理は、物体Ｏの造形を行う前に予め粉末材料Ａを加熱する処理である。予備加熱は、予熱とも称される。予備加熱は、物体Ｏの造形前に粉末材料Ａの融点未満の温度で粉末材料Ａを加熱する処理である。予備加熱により、粉末材料Ａが加熱されることによって、仮焼結される。その結果、電子ビームＢの照射による粉末材料Ａへの負電荷の蓄積が抑制される。従って、電子ビームＢの照射時に粉末材料Ａが飛散することによって、粉末材料Ａが舞い上がるスモーク現象を抑制することができる。制御部４は、ビーム出射部２に制御信号を出力することによって、電子銃部２１から電子ビームＢを出射させると共に偏向コイル２４を作動させる。その結果、電子ビームＢの照射位置が制御される。これにより、図２に示すように、プレート３１上の粉末材料Ａに電子ビームＢが照射された結果、粉末材料Ａが加熱される。

【００４１】

そして、図５のＳ１６に処理が移行する。照射工程であるＳ１６では、照射処理が行われる。照射処理は、造形領域Ｍに電子ビームＢを照射することによって、物体Ｏの造形を行う造形処理である。例えば、制御部４は、造形すべき物体Ｏの三次元ＣＡＤデータに基づいて二次元のスライスデータを生成する。制御部４は、このスライスデータに基づいて、粉末材料Ａに対し電子ビームＢを照射する造形領域Ｍ、輪郭部分Ｍ１、内側部分Ｍ２、照射経路及び照射方向を決定する。制御部４は、設定した照射経路及び照射方向に応じてビーム出射部２から電子ビームＢを照射させる。Ｓ１６の照射処理では、物体Ｏを構成す

る一部の層が造形される。

【００４２】

具体的には、図２に示すように、プレート３１の範囲内に造形領域Ｍが設定される。次に、造形領域Ｍ内に輪郭部分Ｍ１及び内側部分Ｍ２が設定される。そして、輪郭部分Ｍ１及び内側部分Ｍ２内には、それぞれ電子ビームＢの照射経路及び照射方向が設定される。上述したように、輪郭部分Ｍ１と内側部分Ｍ２は、電子ビームＢの照射パターンが異なっている。つまり、輪郭部分Ｍ１では、造形領域Ｍの輪郭線Ｃに対し直交する方向に電子ビームＢが走査されるように電子ビームＢが照射される。一方、内側部分Ｍ２では、一定の方向に沿って電子ビームＢが走査されるように電子ビームＢが照射される。図２では、プレート３１上に設定されたＸＹ座標系のＸ方向に沿って電子ビームＢが走査されるように電子ビームＢが照射される場合を示している。輪郭部分Ｍ１及び内側部分Ｍ２では、互いに隣接する照射経路は、平行又はほぼ平行である。このため、電子ビームＢを往復させて走査することができる。その結果、電子ビームＢの照射時間を短くすることができる。輪郭部分Ｍ１の走査速度から内側部分Ｍ２の走査速度へ変更することなく電子ビームＢの照射を行うことができる。従って、電子ビームＢの照射を効率良く行うことができるので、短時間で照射処理を行うことが可能となる。

【００４３】

この照射処理では、輪郭部分Ｍ１において、図３のように照射経路を飛び越し走査することによって、電子ビームＢを照射してもよい。図４のように照射方向を同一方向として電子ビームＢを照射してもよい。

【００４４】

そして、図５のＳ１８に処理が移行する。Ｓ１８では、制御処理の終了条件が成立したか否かが判定される。制御処理の終了条件が成立した場合とは、例えば、所望の三次元の物体Ｏの造形が終了した場合である。つまり、Ｓ１０からＳ１６までの制御処理を繰り返し行った結果、物体Ｏの造形が完了した場合である。一方、制御処理の終了条件が成立していない場合とは、例えば、所望の三次元の物体Ｏの造形が完了していない場合である。

【００４５】

Ｓ１８において制御処理の終了条件が成立していないと判定された場合、Ｓ１０に処理が戻る。一方、Ｓ１８において制御処理の終了条件が成立したと判定された場合、図５の一連の制御処理が終了する。

【００４６】

図５のＳ１０からＳ１８までの処理が繰り返し行われることにより、溶融及び固化した粉末材料Ａが積層されるので、物体Ｏが徐々に形成される。そして、最終的に所望の物体Ｏが造形される。

【００４７】

本開示の三次元造形装置１及び三次元造形方法は、造形領域Ｍの輪郭部分Ｍ１において造形領域Ｍの輪郭線Ｃに対し直交する方向に電子ビームＢが走査するように電子ビームＢを粉末材料Ａに照射させる。その結果、電子ビームＢを高速で走査しながら、物体Ｏを造形することができる。従って、造形領域Ｍの輪郭部分Ｍ１に対するビームの照射を短時間で完了することができる。その結果、物体Ｏを効率良く短時間で造形することができる。従って、物体Ｏを効率良く造形することができる。

【００４８】

本開示の三次元造形装置１及び三次元造形方法は、輪郭部分Ｍ１と内側部分Ｍ２において、電子ビームＢを同一の強度及び走査速度でビーム照射を行うことができる。このため、輪郭部分Ｍ１と内側部分Ｍ２において、電子ビームＢの強度及び走査速度を変更せずに電子ビームＢを照射することができる。従って、効率良く物体Ｏの造形を行うことができる。

【００４９】

本開示の三次元造形装置１及び三次元造形方法は、良好な物体Ｏを造形することができる。例えば、輪郭部分Ｍ１を輪郭線Ｃと平行にビーム照射する場合と比較して、面粗度の

小さい良好な物体Ｏを造形することができる。

【００５０】

具体的に物体Ｏを造形した例を示す。本開示の三次元造形装置１及び三次元造形方法と比較例でそれぞれ幅４ｍｍの輪郭部分Ｍ１を有する物体Ｏを造形した。そして、それぞれの方法で造形された物体Ｏの面粗度を比較した。本開示の三次元造形装置１及び三次元造形方法では、輪郭線Ｃに対して直交である方向にビームを照射した。比較例では、輪郭線Ｃに対して平行である方向にビームを照射した。幅４ｍｍの輪郭部分Ｍ１とは、輪郭線Ｃからの距離が４ｍｍであることを示す。面粗度としては、算術平均高さを採用した。算術平均高さＳａは、光学式測定器により測定した。エネルギビームとしてレーザビームを用いた。本開示の三次元造形装置１及び三次元造形方法では、Ｓａ＝２０μｍ程度の面粗度の物体Ｏを造形することができた。これに対し、輪郭線Ｃに対して平行である方向にビームを照射した比較例では、Ｓａ＝３０μｍ程度の面粗度の物体Ｏしか造形することができなかった。本開示の三次元造形装置１及び三次元造形方法では、レーザの電流値を２８ｍＡとして造形を行った。これに対し、輪郭線Ｃに対して平行である方向にビーム照射した比較例では、レーザの電流値を下げるとＳａの値が下がった。しかし、比較例では、レーザの電流値を１０ｍＡまで下げてもＳａは２８μｍ程度であった。このように、本開示の三次元造形装置１及び三次元造形方法は、面粗度の小さい良好な物体Ｏを造形できることがわかった。

【００５１】

また、本開示の三次元造形装置１及び三次元造形方法は、造形領域Ｍのうち輪郭部分Ｍ１より内側に形成される内側部分Ｍ２において一定の方向に沿って電子ビームＢを走査させながら、電子ビームＢを粉末材料Ａに照射してもよい。内側部分Ｍ２で一定の方向に沿って電子ビームＢを走査させながら、電子ビームＢを粉末材料Ａに照射することにより、内側部分Ｍ２におけるビーム照射を短時間で行うことができる。その結果、物体Ｏの造形を短時間で行うことができる。

【００５２】

本開示の三次元造形装置１及び三次元造形方法は、輪郭部分Ｍ１に設定される照射経路に対し電子ビームＢの照射を行ってもよい。本開示の三次元造形装置１及び三次元造形方法は、電子ビームＢを照射した照射経路に次いで隣接する照射経路を飛び越して電子ビームＢの照射が行われてもよい。この場合、電子ビームＢを照射した照射経路に隣接する照射経路を飛び越して電子ビームＢの照射を行う。その結果、電子ビームＢの照射による熱の集中を抑制することができる。このため、物体Ｏの不適切な造形を抑制することができる。特に、帯状の輪郭部分Ｍ１であって、輪郭部分Ｍ１の幅方向に電子ビームＢを照射する場合、熱の集中を抑制できる。その結果、物体Ｏの適切な造形が可能となる。

【００５３】

本開示の三次元造形装置１及び三次元造形方法は、輪郭部分Ｍ１に設定される照射経路に対し電子ビームＢの照射を行ってもよい。本開示の三次元造形装置１及び三次元造形方法は、照射経路のそれぞれについて同一方向に向けて電子ビームＢの照射を行ってもよい。この場合、照射経路のそれぞれについて同一方向に向けて電子ビームＢを照射する。従って、電子ビームＢの照射による熱の集中を抑制することができる。その結果、物体Ｏの不適切な造形を抑制することができる。特に、帯状の輪郭部分Ｍ１において、輪郭部分Ｍ１の幅方向に電子ビームＢを照射する場合、熱の集中を抑制できる。従って、物体Ｏの適切な造形が可能となる。

【００５４】

以上のように、本開示の三次元造形装置１及び三次元造形方法について説明した。本開示の三次元造形装置１及び三次元造形方法は、上述した実施形態に限定されない。本開示の三次元造形装置１及び三次元造形方法は、特許請求の範囲の記載の要旨を逸脱しない範囲で様々な変形態様をとることができる。

【００５５】

例えば、エネルギビームとして電子ビームＢを粉末材料Ａに照射することによって、物

体Ｏを造形する場合について説明した。粉末材料Ａには、電子ビームＢとは異なる種類のエネルギビームを照射してもよい。例えば、エネルギビームとしてレーザビームを粉末材料Ａに照射することによって、物体Ｏを造形するものであってもよい。この場合、ビーム出射部２としてレーザスキャンヘッドなどレーザビームを粉末材料Ａへ照射可能なものを用いて、物体Ｏの造形を行えばよい。

【００５６】

造形領域Ｍにおいて輪郭部分Ｍ１の内側に内側部分Ｍ２が設定される場合について説明した。内側部分Ｍ２の設定は、省略してもよい。例えば、造形領域Ｍの全部又は一部において、輪郭部分Ｍ１のみを設定した後に、照射処理を行うことによって物体Ｏを造形してもよい。具体的には、図６に示すように、造形領域Ｍがリング状の場合など造形領域Ｍが帯状の領域を有している場合、内側部分Ｍ２を設定せず輪郭部分Ｍ１のみを設定した後に、ビーム照射を行ってもよい。この場合であっても、上述した実施形態と同様な作用効果を得ることができる。

【００５７】

一つの照射経路に沿ってビームを照射している期間中に、ビームの走査速度及びビーム強度の一方又は双方を変化させてよい。例えば、図７に示すように、輪郭がＺ方向（積層方向）になす角度に応じて、一つの照射経路に沿ってビームを照射している期間中にビームの走査速度及びビーム強度の一方又は双方を変化させてよい。物体Ｏの突出部分でオーバーハングとなる部分では熱を逃がすための抜熱パスが限られる。その結果、造形中の熱量が過剰になりやすい。このような部分ではビームの走査速度を速くしたりビーム強度を弱くする。その結果、熱の集中が抑制されるので、最適化を図ることができる。

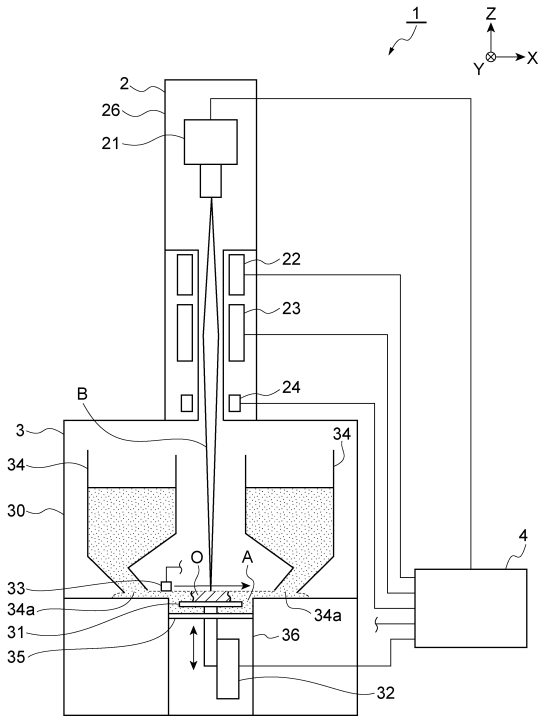
【符号の説明】

【００５８】

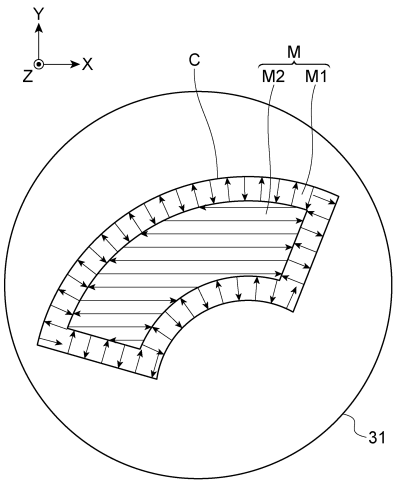
１　三次元造形装置
２　ビーム出射部
３　造形部
４　制御部
２１　電子銃部
２２　収差コイル
２３　フォーカスコイル
２４　偏向コイル
３１　プレート
３２　昇降機
３３　粉末供給機構
３４　ホッパ
Ａ　粉末材料
Ｂ　電子ビーム
Ｃ　輪郭線
Ｍ　造形領域
Ｍ１　輪郭部分
Ｍ２　内側部分
Ｏ　物体

【図面】

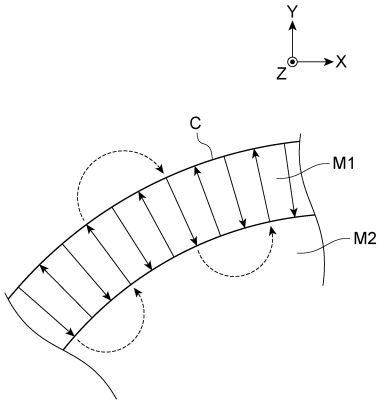
【図１】


1
Z
Y
X
2
26
21
22
23
24
B
3
34
34
30
O
A
4
33
34a
34a
31
36
35
32

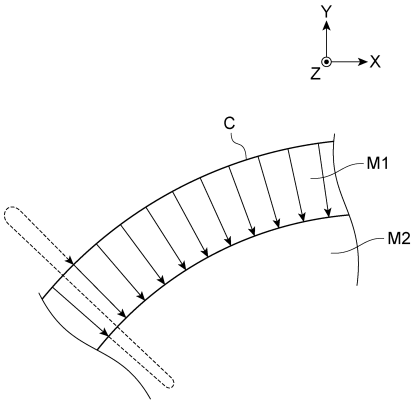
【図２】


Y
X
Z
C
M
M2
M1
31

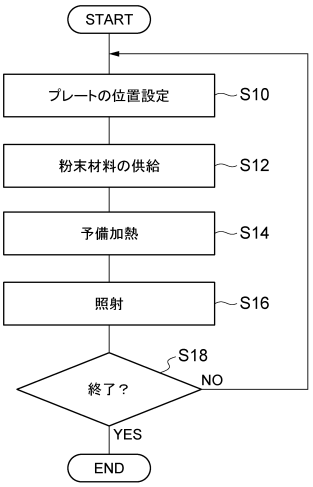
【図３】


Y
X
Z
C
M1
M2

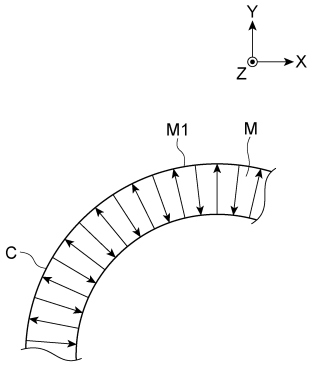
【図４】


Y
X
Z
C
M1
M2

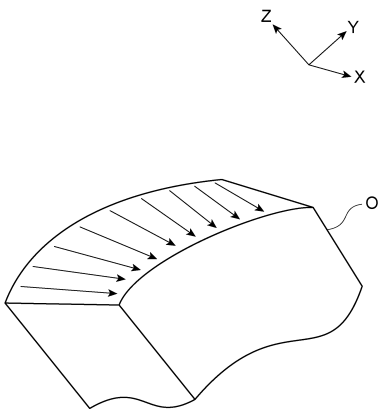
【図５】


START
プレートの位置設定
S10
粉末材料の供給
S12
予備加熱
S14
照射
S16
S18
終了？
NO
YES
END

【図６】


Y
Z
X
M1
M
C

【図７】


Z
Y
X
O

フロントページの続き

(51)国際特許分類		FI	
Ｂ２９Ｃ	*64/386 (2017.01)*	Ｂ２９Ｃ	64/386
Ｂ３３Ｙ	*10/00 (2015.01)*	Ｂ３３Ｙ	10/00
Ｂ３３Ｙ	*30/00 (2015.01)*	Ｂ３３Ｙ	30/00
Ｂ３３Ｙ	*50/00 (2015.01)*	Ｂ３３Ｙ	50/00

東京都江東区豊洲三丁目１番１号 株式会社ＩＨＩ内
(72)発明者 毛利 雅志
東京都江東区豊洲三丁目１番１号 株式会社ＩＨＩ内
審査官 坂本 薫昭
(56)参考文献 特開２０１５－１６６１７８（ＪＰ，Ａ）
特開２０２０－１７２１０４（ＪＰ，Ａ）
特表２０２１－５０４５７１（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１９／０８８１１４（WO，Ａ１）
米国特許出願公開第２０１９／０１６０８０６（ＵＳ，Ａ１）
(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｂ２２Ｆ １０／２８，１０／３６６，１２／４０
Ｂ２９Ｃ ６４／１５３，６４／２６８，６４／３８６
Ｂ３３Ｙ １０／００，３０／００，５０／００，５０／０２