

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7186898号
(P7186898)

(45)発行日 令和4年12月9日(2022.12.9)

(24)登録日 令和4年12月1日(2022.12.1)

(51)国際特許分類

F I

B 2 2 F	12/00	(2021.01)	B 2 2 F	12/00
B 2 2 F	12/44	(2021.01)	B 2 2 F	12/44
B 3 3 Y	50/02	(2015.01)	B 3 3 Y	50/02
B 2 9 C	64/393	(2017.01)	B 2 9 C	64/393
B 2 9 C	64/141	(2017.01)	B 2 9 C	64/141

請求項の数 14 (全29頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2021-555635(P2021-555635)
 (86)(22)出願日 令和1年11月11日(2019.11.11)
 (86)国際出願番号 PCT/JP2019/044147
 (87)国際公開番号 WO2021/095096
 (87)国際公開日 令和3年5月20日(2021.5.20)
 審査請求日 令和3年11月9日(2021.11.9)

(73)特許権者 000006013
 三菱電機株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
 (74)代理人 100118762
 弁理士 高村 順
 (72)発明者 多久島 秀
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
 三菱電機株式会社内
 (72)発明者 河野 裕之
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
 三菱電機株式会社内
 (72)発明者 澤 良次
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
 三菱電機株式会社内
 審査官 池ノ谷 秀行

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 積層造形装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

加工材料をワーク表面の加工位置に供給する加工材料供給部と、

溶融した前記加工材料が前記加工位置に積層し、繰り返されることで造形物が形成される付加加工中に、前記ワーク上に形成済みの前記造形物の計測位置における高さを計測し、前記計測の結果を示す計測結果を出力する高さ計測部と、

前記計測位置に新たに積層するときの加工条件を前記計測結果に応じて制御する制御部と、

を備え、

前記高さ計測部は、

前記計測位置に線状ビームを照射する計測用照明系、前記線状ビームが前記計測位置で反射した反射光を受光素子で受光する受光光学系、及び前記受光素子上における前記反射光の受光位置に基づいて前記ワーク上に形成された前記造形物の高さを算出する演算部と、を有し、

前記線状ビームの光軸は、前記受光光学系の光軸に対して前記加工材料供給部に対向する側に傾いており、

前記線状ビームは、前記ワーク表面に平行な面内において、前記加工材料供給部に対向する方向と、前記加工材料供給部に対向する方向に対して+90度の方向と、前記加工材料供給部に対向する方向に対して-90度の方向とを横切るように照射される

ことを特徴とする積層造形装置。

【請求項 2】

前記計測位置は、
前記加工位置の移動に伴って移動し、前記加工材料が凝固した位置であることを特徴とする請求項 1 に記載の積層造形装置。

【請求項 3】

前記計測位置は、
前記受光素子の視野内であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の積層造形装置。

【請求項 4】

前記計測位置は、
前記加工位置から見て前記加工位置が前記ワーク上を移動していく方向に位置することを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の積層造形装置。

10

【請求項 5】

前記計測用照明系は、直線形状の線状ビームを投影することを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の積層造形装置。

【請求項 6】

前記計測用照明系は、円弧形状の線状ビームを投影することを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の積層造形装置。

【請求項 7】

前記加工材料を溶融する加工光を前記加工位置に結像する加工光学系を有することを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の積層造形装置。

20

【請求項 8】

前記受光光学系は、前記加工光学系と一体で設けられていることを特徴とする請求項 7 に記載の積層造形装置。

【請求項 9】

前記計測用照明系は、前記加工光学系と一体で設けられていることを特徴とする請求項 7 に記載の積層造形装置。

【請求項 10】

前記高さ計測部は、
前記計測位置に対して今後の加工方向を算出する計測位置算出部と、を有することを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の積層造形装置。

30

【請求項 11】

前記制御部は、
前記計測結果が、あらかじめ設定された積層物の高さである目標値より高い場合は、前記加工位置に供給する前記加工材料の供給量を減少させ、前記計測結果が前記目標値より低い場合は、前記供給量を増加させる
ことを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の積層造形装置。

【請求項 12】

前記制御部は、
前記計測結果が、あらかじめ設定された積層物の高さである目標値より高い場合は、前記加工光の出力を減少させ、前記計測結果が前記目標値より低い場合は、前記加工光の出力を増加させる
ことを特徴とする請求項 7 から 9 のいずれか 1 項に記載の積層造形装置。

40

【請求項 13】

前記制御部は、
前記計測結果が、あらかじめ設定された積層物の高さである目標値より高い場合は、前記加工位置を移動させる速度を増加させ、前記計測結果が前記目標値より低い場合は、前記加工位置を移動させる速度を減少させる
ことを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の積層造形装置。

【請求項 14】

50

前記制御部は、

前記加工材料の先端の高さを、あらかじめ設定された積層物の高さである目標値に応じて上昇させ、前記計測結果が、前記目標値より高い場合は、前記加工材料の先端の高さを上昇させる量を増加させ、前記計測結果が前記目標値より低い場合は、前記加工材料の先端の高さを上昇させる量を減少させる

ことを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の積層造形装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、加工位置で加工材料を溶融して積層することで造形物を形成する積層造形装置に関する。

10

【背景技術】

【0002】

3Dプリンタのように加工材料を積層して3次元の造形物を形成する付加製造(Additive Manufacturing, AM)と呼ばれる技術を用いた積層造形装置が従来から知られている。また、加工材料として金属を積層する方式として、指向性エネルギー堆積(Directed Energy Deposition, DED)方式を用いた積層造形装置がある。指向性エネルギー堆積方式を用いる積層造形装置は、供給口から金属ワイヤ又は金属粉末といった金属材料を、加工材料として造形物を造形するためのベースに供給し、例えばレーザー又は電子ビームで金属材料を溶融して積層することで所望の形状の造形物を形成する。

20

【0003】

しかし、積層造形装置は、あらかじめ定められた軌跡で供給口を移動させるが、形成された造形物が設計通りの形状とならない場合がある。具体的には、ベースの上面と、供給口との間の距離が適切な値の範囲から外れると、均一に金属材料を積層することができない。供給口から金属材料の出射量を設定しておけば、金属材料先端の高さも算出することができる。例えば、ベースの上面と金属材料の供給口との間の距離が適切な値の範囲よりも長い場所に位置する供給口から金属材料が提供された場合、言い換えれば造形物の高さが設計値よりも低い場合には、供給した金属材料が溶滴となり、造形物に凹凸が生じる。一方、ベースの上面と金属材料の供給口との間の距離が、適切な値の範囲よりも短い場所に位置する供給口から供給された場合、言い換えれば造形物の高さが設計値よりも高い場合には、金属材料が造形物に押し付けられ過ぎる影響で溶け残りが発生する。

30

【0004】

そこで、スリット状のレーザー光を溶接直後のビードに照射し、この被測定面の凹凸から溶接ビード形状を断面として計測する溶接ビード形状センサを用いて次回の加工条件を変更しているレーザー溶接方法があった(例えば、特許文献1参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開2000-167678号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、このような従来技術では、スリット状のレーザー光の長手方向を進行方向と直交するように配置してビード形状を計測するため、金属の加工材料が供給される方向を+X方向とすると、+X方向と平行な方向へ造形される場合以外の、例えば、+X方向と直交する方向である+Y方向へ造形する際は、スリット状のレーザー光が造形物上に照射されず、造形物の高さを計測することができない。したがって、+Y方向へ造形したい場合は、造形物が配置されているワークを90度回転させ、+X方向と平行な方向であり、レーザー光の長手方向と直交するように配置し直して、造形されるようにする必要があった

50

。つまり、加工方向が変わる都度、一時加工を中断し、レーザ光を造形物に照射できるようにワークを回転させなければならなかった。

また、例えば、- Y 方向、- X 方向及び + Y 方向の 3 方向に向かって加工する際は、3 方向各々にレーザ光を照射できるように 3 台のレーザ光を照射する照明装置を各々配置しなければならず、積層造形装置が大型化してしまっていた。

【0007】

本開示は、上述のような課題を解決するためになされたもので、加工材料を供給する方向に応じてワークを回転する必要が無く、簡易で小型な積層造形装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本開示に係る積層造形装置は、加工材料をワーク表面の加工位置に供給する加工材料供給部と、溶融した加工材料がワーク表面の加工位置に積層し、繰り返されることで造形物が形成される付加工中に、ワーク上に形成済みの造形物の計測位置における高さを計測し、計測の結果を示す計測結果を出力する高さ計測部と、計測位置に新たに積層するときの加工条件を計測結果に応じて制御する制御部と、を備え、高さ計測部は、計測位置に線状ビームを照射する計測用照明系、線状ビームが計測位置で反射した反射光を受光素子で受光する受光光学系、及び受光素子上における反射光の受光位置に基づいてワーク上に形成された造形物の高さを算出する演算部と、を有し、線状ビームの光軸は、受光光学系の光軸に対して加工材料供給部に対向する側に傾いており、線状ビームは、ワーク表面に平行な面内において、加工材料供給部に対向する方向と、加工材料供給部に対向する方向に対して + 90 度の方向と、加工材料供給部に対向する方向に対して - 90 度の方向とを横切るように照射されることを特徴とする。

【発明の効果】

【0009】

本開示に係る積層造形装置は、加工材料を供給する方向から加工光の光軸に対して対向する方向の ± 90 度の角度範囲を照射し、高さを計測することで、任意の方向から加工材料を供給した場合であっても、加工材料を供給する方向に応じてワークを回転する必要がなく、簡易で小型な積層造形装置で造形物を製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図 1】本開示の実施の形態 1 に係る積層造形装置の構成を示す斜視図である。

【図 2】本開示の実施の形態 1 に係る積層造形装置の加工ヘッドの内部構成を示す図である。

【図 3】本開示の実施の形態 1 に係る積層造形装置の有する計測位置算出部、演算部及び制御部の機能を実現するための専用のハードウェアを示す図である。

【図 4】本開示の実施の形態 1 に係る積層造形装置の有する演算部及び制御部の機能を実現するための制御回路の構成を示す図である。

【図 5】本開示の実施の形態 1 に係る造形物に対する加工材料の高さを示す概略図である。

【図 6】本開示の実施の形態 1 に係る積層造形装置を用いて加工している様子を Y 方向から見た側面図である。

【図 7】本開示の実施の形態 1 に係る積層造形装置を用いて加工している様子を X 方向から見た計測系照明部からラインビームが投影される様子である。

【図 8】本開示の実施の形態 1 に係る積層造形装置を用いて + X 方向へ延びるように加工している様子を Y 方向から見た側面図である。

【図 9】本開示の実施の形態 1 に係る計測用照明部が平坦なワークに投影するラインビームの X Y 平面の図である。

【図 10】本開示の実施の形態 1 に係るラインビームを - X 方向、± Y 方向に延びたビード上に照射した際の X Y 平面の図である。

【図 11】本開示の実施の形態 1 に係るラインビームを造形物に照射した際の受光素子上

10

20

30

40

50

に結像された画像を示す図である。

【図 1 2】本開示の実施の形態 1 に係る積層造形装置を用いて + Y 方向に加工する際の受光素子の画像を示している。

【図 1 3】本開示の実施の形態 1 に係る積層造形装置を、X ステージ及び Y ステージを同時に動かし、+ X 方向に対して 1 3 5 度方向に造形する際の受光素子上の画像を示している。

【図 1 4】本開示の実施の形態 1 に係る積層造形装置による造形物の高さ制御の手順を示すフローチャートである。

【図 1 5】本開示の実施の形態 1 に係る積層造形装置が第 2 層目を加工する場合の加工材料供給部の高さを示す図である。

10

【図 1 6】本開示の実施の形態 1 に係る積層造形装置が第 2 層目を加工する場合の加工材料供給部の供給口の高さを示す図である。

【図 1 7】造形物の高さに対する加工位置からのラインビームの照射位置を説明するための図である。

【図 1 8】造形物の形状に対する基準画素位置と目標高さを説明するための図である。

【図 1 9】本開示の実施の形態 2 に係る計測用照明部が平坦なワークに投影するラインビームの X Y 平面の図である。

【図 2 0】本開示の実施の形態 3 に係る積層造形装置の構成を示す図である。

【図 2 1】本開示の実施の形態 3 に係る積層造形装置の加工ヘッドの内部構成を示す図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0 0 1 1】

実施の形態 1 .

図 1 は、実施の形態 1 に係る積層造形装置 1 0 0 の構成を示す斜視図である。図 1 に示すように、積層造形装置 1 0 0 は、加工用レーザ 1、加工ヘッド 2、ワーク 3 を固定するための固定具 5、駆動ステージ 6、計測用照明部 8、ガスノズル 9、加工材料供給部 1 0、計測位置算出部 5 0、演算部 5 1、及び制御部 5 2 を有する。積層造形装置 1 0 0 は、積層物とも呼ばれる造形物 4 を形成する。

【0 0 1 2】

なお、以降の実施の形態も含めて、積層造形装置 1 0 0 は、金属を加工材料 7 として使用する金属積層装置とするが、例えば樹脂といった他の加工材料を使用するものであっても良い。

30

また、積層造形装置 1 0 0 は、加工用レーザ 1 を用いて加工材料 7 を溶解し、積層加工を行うものとするが、例えばアーク放電といった他の加工方法を使用してもよい。

【0 0 1 3】

積層造形装置 1 0 0 は、加工材料 7 を溶融してワーク 3 の上に付加する付加加工を繰り返して、造形物 4 を形成する。このとき、積層造形装置 1 0 0 は、形成済みの造形物 4 の高さを計測して、計測結果に基づいて、次に行う付加加工の加工条件を制御する機能を有する。積層造形装置 1 0 0 は、最初の付加加工では、ワーク 3 の上に溶融した加工材料 7 を積層する。積層造形装置 1 0 0 は、加工位置に加工材料 7 を供給し、加工位置に加工光 3 0 を照射することで、形成済みの造形物 4 の上に新たな層を積層して新たな造形物 4 とする付加加工を繰り返し行う。

40

また、計測する造形物 4 の高さとは、Z 方向の造形物 4 の上面の位置である。

【0 0 1 4】

加工用レーザ 1 は、ワーク 3 上に造形物 4 を造形する造形加工に用いられる加工光 3 0 を出射する。加工用レーザ 1 は、例えば、半導体レーザを用いたファイバレーザ装置、又は CO₂ レーザ装置である。加工用レーザ 1 が出射する加工光 3 0 の波長は、例えば、1 0 7 0 nm である。

【0 0 1 5】

加工ヘッド 2 は、加工光学系及び受光光学系を備える。

50

加工光学系は、加工用レーザ 1 から照射される加工光 30 を集光してワーク 3 上の加工位置に結像させる。

一般的に、加工光 30 は、加工位置に点状に集光されることから、以降では加工位置と呼び、本実施の形態について説明する。加工用レーザ 1 及び加工光学系が、加工部を構成する。本実施の形態では、加工位置に形成済みの造形物 4 の高さを測定する方法は、光切断方式とする。

また、本実施の形態では、加工ヘッド 2 内に受光光学系を配置し、加工光学系と受光光学系とを一体化されたものとする。

【0016】

ワーク 3 は、駆動ステージ 6 の上に載せられ、固定具 5 で駆動ステージ 6 の上に固定される。ワーク 3 は、造形物 4 が形成される際の土台となり、ワーク 3 の表面に加工材料 7 が積層される。本実施の形態では、ワーク 3 は、ベースプレートとするが、3次元形状を有する物体であってもよい。

10

駆動ステージ 6 が駆動されることで、加工ヘッド 2 に対するワーク 3 の位置が変化し、ワーク 3 上を加工位置が移動する。加工位置が走査されるとは、加工位置が定められた経路に沿って移動することである。なお、加工位置の移動は、造形物 4 の高さ方向に対して直交する方向への移動を伴う。すなわち、移動前の加工位置の位置と移動後の加工位置の位置とでは、高さ方向に対して直交する平面に投影された位置が異なる。また、計測位置は、加工位置がワーク 3 上を移動していく方向に位置する。

【0017】

20

駆動ステージ 6 は、XYZ の 3 軸の走査が可能である。なお、Z 方向は造形物 4 が積層される高さ方向である。X 方向は、Z 方向に対して直交する方向であり、図 1 では、加工材料 7 を供給する加工材料供給部 10 が設置されている方向である。Y 方向は、X 方向及び Z 方向の双方に直交する方向である。

駆動ステージ 6 は、XYZ の 3 軸いずれか 1 軸の方向に、平行移動することが可能である。また、本実施の形態に係る駆動ステージ 6 は、XY 面内及び YZ 面内での回転も行うことができる 5 軸ステージを使用する。XY 面内及び YZ 面内を回転することで、ワーク 3 の姿勢及び位置を変更することができる。

積層造形装置 100 は、駆動ステージ 6 を回転させることで、ワーク 3 に対する加工光 30 の照射位置を移動させることができる。このため、例えば、テーパ形状を含む複雑な形状を造形することができる。本実施の形態では、駆動ステージ 6 が 5 軸で走査可能であるものとするが、加工ヘッド 2 を走査しても良い。

30

【0018】

積層造形装置 100 は、駆動ステージ 6 を駆動することでワーク 3 を +X 方向に走査しながら、加工材料 7 を加工位置に供給する。積層造形装置 100 は、ワーク 3 上を移動する加工位置で、溶融した加工材料 7 を積層することで付加加工を行う。より具体的には、積層造形装置 100 は、駆動ステージ 6 を駆動してワーク 3 上で加工位置の候補点を移動させ、移動経路上の候補点の少なくとも 1 点が、加工材料 7 が積層される加工位置となる。

その結果、加工位置が走査されるたびに、加工位置において加工光 30 によって加工材料 7 が溶融され、溶融された後に凝固し、ビードは -X 方向に延びていくように形成される。加工位置が走査されるたびに、土台となるワーク 3 又は造形済みの造形物 4 の一部の上に新たにビードが積層されることで、新たに造形物 4 の一部が形成される。この動作を繰り返すことで、加工材料 7 が積層されて最終生成物である造形物 4 が所望の形状で形成される。

40

【0019】

加工材料 7 は、例えば、金属ワイヤ、又は金属粉末である。加工材料 7 は、加工材料供給部 10 から加工位置に供給される。加工材料供給部 10 は、例えば、金属ワイヤが巻きつけられているワイヤスプールを回転モータの駆動に伴って回転させ、金属ワイヤを加工位置に送り出す。

また、加工材料供給部 10 は、逆方向にモータを回転することで加工位置へ供給された

50

金属ワイヤを引き抜くことができる。加工材料供給部 10 は、加工ヘッド 2 と一体に設置されており、駆動ステージ 6 によって、加工ヘッド 2 と一体で駆動される。なお、金属ワイヤを送給する方法は、上記の例に限定されない。

【0020】

積層造形装置 100 は、加工位置の走査を繰り返すことで、熔融した加工材料 7 が凝固して生成されたビードを積層して、ワーク 3 上に造形物 4 を形成する。すなわち、積層造形装置 100 は、付加加工を繰り返して造形物 4 を生成する。ビードは、熔融した加工材料 7 が凝固することで形成される物体であり、造形物 4 となるものである。本実施の形態では、加工中凝固して間もないものをビード、ビードが凝固して形成されたものを造形物 4 として区別している。

10

【0021】

計測用照明部 8 は、本実施の形態では、加工ヘッド 2 の側面に取り付けられる。計測用照明部 8 は、ワーク 3 上にある形成済みの造形物 4 の高さを計測するために、ワーク 3 又は形成済みの造形物 4 上の計測位置に向けて、照明光として、本実施の形態では、計測用のラインビーム 41, 42 を照射する。

計測位置は、加工位置とは異なる位置で、計測用のラインビーム 41, 42 が反射する位置であり、加工位置の移動に伴って移動する。計測位置で反射した光を受光できるように、受光光学系は、加工ヘッド 2 の中に配置される。

また、受光光学系は、ラインビーム 41, 42 の光軸に対して斜め方向の光軸を持つように配置される。加工時に発生する熱輻射光のピーク波長が赤外であるため、計測用照明部 8 の光源には、熱輻射光のピーク波長から離れた、波長 550 nm 付近の緑色レーザ、又は波長 420 nm 付近の青色レーザを用いることが望ましい。

20

【0022】

ガスノズル 9 は、造形物 4 の酸化抑制及びビードの冷却のため、シールドガスをワーク 3 に向けて噴出する。本実施の形態において、シールドガスは不活性ガスとする。ガスノズル 9 は、加工ヘッド 2 の下部に取り付けられ、加工位置の上部に設置されている。本実施の形態では、ガスノズル 9 は加工光 30 と同軸に設置されているが、Z 軸に対して斜め方向から加工位置に向けてガスを噴出してよい。

【0023】

計測位置算出部 50 は、あらかじめ設定された加工経路のデータから現在の加工位置に対して今後の加工方向を算出する。

30

計測位置算出部 50 については、詳しく後述する。

【0024】

演算部 51 は、計測位置算出部 50 の結果を用いて、加工位置における造形物 4 の高さを演算する。造形物 4 の高さの計測は、加工位置を移動しながら加工中に行われる。

演算部 51 は、ラインビーム 41, 42 の反射光の受光位置に基づき、三角測量の原理を用いて、加工位置における造形物 4 の高さを演算するが、詳しくは後述する。

ここで受光位置とは、受光光学系に含まれる受光素子におけるラインビーム 41, 42 の位置である。

【0025】

40

制御部 52 は、演算部 51 で演算された造形物 4 の高さを用いて、例えば、加工用レーザ 1 の駆動条件、加工材料 7 を供給する加工材料供給部 10 の駆動条件、及び駆動ステージ 6 の駆動条件の加工条件を制御する。加工材料供給部 10 の駆動条件は、加工材料 7 を供給する高さに関する条件が含まれる。

計測用照明部 8、受光光学系、計測位置算出部 50 及び演算部 51 をまとめて高さ計測部とする。

【0026】

図 2 は、図 1 に示す加工ヘッド 2 の内部構成を示す図である。加工ヘッド 2 は、投光レンズ 11、ビームスプリッタ 12、対物レンズ 13、バンドパスフィルタ 14、集光レンズ 15、及び受光部 16 を有する。

50

【 0 0 2 7 】

投光レンズ 1 1 は、加工用レーザ 1 が出射した加工光 3 0 をビームスプリッタ 1 2 に向けて透過させる。

ビームスプリッタ 1 2 は、投光レンズ 1 1 から入射する加工光 3 0 をワーク 3 の方向に向かうように反射させる。

対物レンズ 1 3 は、投光レンズ 1 1 及びビームスプリッタ 1 2 を介して入射する加工光 3 0 を集光して、ワーク 3 上の加工位置に結像させる。

【 0 0 2 8 】

加工光学系は、投光レンズ 1 1、ビームスプリッタ 1 2 及び対物レンズ 1 3 で構成される。例えば、本実施の形態では、投光レンズ 1 1 の焦点距離は 2 0 0 mm、対物レンズ 1 3 の焦点距離は 4 6 0 mm とする。ビームスプリッタ 1 2 の表面には、加工用レーザ 1 から照射される加工光 3 0 の波長の反射率を高くし、加工光 3 0 の波長よりも短い波長の光を透過するコーティングが施される。

10

【 0 0 2 9 】

また、加工方向として、本実施の形態では、ワーク 3 を + X 方向に走査し、- X 方向、すなわち加工材料 7 を供給する加工材料供給部 1 0 が設置されている方向と反対方向にビードが延びていくように形成する条件で説明する。以降の実施の形態も含めて、ビードは線状に延びるように形成されるものとして説明するが、例えば、点状に形成したビードを繋げて一つのビードとするといったように、その他のビード形成方法でも良い。また、ビードは、玉状のビードであってもよい。

20

【 0 0 3 0 】

計測用照明部 8 によって照射され、計測位置で反射したラインビーム 4 1 , 4 2 は、対物レンズ 1 3 及びビームスプリッタ 1 2 を介して、バンドパスフィルタ 1 4 に入射する。

ビームスプリッタ 1 2 は、計測位置で反射したラインビーム 4 1 , 4 2 をバンドパスフィルタ 1 4 の方向に透過させる。図 2 では、分かりやすくするため、ラインビーム 4 1 , 4 2 の中心軸を中心軸 4 0 として表している。

バンドパスフィルタ 1 4 は、ラインビーム 4 1 , 4 2 の波長の光を選択的に透過させ、ラインビーム 4 1 , 4 2 の波長以外の波長の光を遮断する。バンドパスフィルタ 1 4 は、加工光 3 0、熱輻射光、外乱光などの不要な波長の光を除去して、ラインビーム 4 1 , 4 2 を集光レンズ 1 5 に向けて透過させる。

30

【 0 0 3 1 】

集光レンズ 1 5 は、ラインビーム 4 1 , 4 2 を集光して受光部 1 6 に結像させる。

受光部 1 6 は、例えば、CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) イメージセンサといった、受光素子を搭載したエリアカメラである。受光部 1 6 は、CMOS センサに限らず、二次元に画素が配列された受光素子を備えればよい。

受光光学系は、対物レンズ 1 3 及び集光レンズ 1 5 で構成されている。本実施の形態では、受光光学系は、対物レンズ 1 3 及び集光レンズ 1 5 の 2 枚のレンズで構成されることとしたが、3 枚以上のレンズを用いてもよい。受光光学系は、ラインビーム 4 1 , 4 2 を受光部 1 6 に結像させることができればその構成は制限されない。受光ユニット 1 7 は、受光光学系及び受光素子で構成されている。

40

【 0 0 3 2 】

続いて、本実施の形態に係る計測位置算出部 5 0、演算部 5 1 及び制御部 5 2 のハードウェア構成について述べる。計測位置算出部 5 0、演算部 5 1 及び制御部 5 2 は、処理回路により実現される。計測位置算出部 5 0、演算部 5 1 及び制御部 5 2 の処理回路は、専用のハードウェアにより実現されてもよいし、CPU (Central Processing Unit) を用いた制御回路であってもよい。

上記の処理回路が、専用のハードウェアにより実現される場合、これらは、図 3 に示す処理回路 1 9 0 により実現される。図 3 は、図 1 に示す計測位置算出部 5 0、演算部 5 1 及び制御部 5 2 の機能を実現するための専用のハードウェアを示す図である。処理回路 1

50

90は、単回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ASIC (Application Specific Integrated Circuit, ASIC)、FPGA (Field Programmable Gate Array, FPGA)、又は双方を組み合わせたものである。

【0033】

処理回路190が、CPUを用いた制御回路で実現される場合、本実施の形態に係る制御回路は、例えば図4のような構成の制御回路200で示される。図4は、図1に示す演算部51及び制御部52の機能を実現するための制御回路200の構成を示す図である。図4に示すように、制御回路200は、プロセッサ200a及び、メモリ200bとで構成されている。

プロセッサ200aは、CPUであり、例えば、中央処理装置、処理装置、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、又はDSP (Digital Signal Processor, DSP) と呼ばれる。

メモリ200bは、例えば、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリ、EPROM (Erasable Programmable ROM)、EEPROM (登録商標) (Electrically EPROM, EM) などの不揮発性又は揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスク及び、DVD (Digital Versatile Disk, DVD) である。

【0034】

処理回路190が制御回路200により実現される場合、プロセッサ200aがメモリ200bに記憶された、各構成要素の処理に対応するプログラムを読み出して実行することにより実現される。また、メモリ200bは、プロセッサ200aが実行する各処理における一時メモリとしても使用される。

【0035】

図5は、本実施の形態に係る造形物4に対する加工材料7の高さを示す概略図である。図5において、加工材料7の高さとは、形成済みの造形物4の上面4aと、加工材料供給部10の加工材料7の供給口との間の長さである。図5を用いて、加工材料7の高さについて説明する。

【0036】

供給口から加工材料7の出射量を設定すると、加工材料7の先端の高さを算出することができる。また、加工材料7の適切な高さの範囲は、形成済みの造形物4の高さに依存する。図5に示す通り、形成済みの造形物4に応じた加工材料7を適切な高さで供給できなければ、加工結果に不具合が発生する。

形成済みの造形物4に応じた加工材料7の適切な高さの範囲について、図5を用いて説明する。図5では、加工材料7の適切な高さの範囲を $h_{a \pm}$ とする。

【0037】

図5(a)では、加工材料7の高さ h_a は、 $h_{a \pm}$ の範囲内である。したがって、加工結果に不具合は発生しない。

【0038】

図5(b)では、加工対象面となる形成済みのビードの高さがあらかじめ定める設計値に対して低く、加工材料7の高さ h_b は、 $h_b > h_{a+}$ であり、 $h_{a \pm}$ の範囲外である。したがって、加工光30が照射されて溶けた加工材料7が形成済みの造形物4に十分付着せず、溶滴71が発生し、加工後の造形物4に凹凸が発生する。

【0039】

図5(c)では、加工対象面となる形成済みのビードの高さが設計値に対して高く、加工材料7の高さ h_c は、 $h_c < h_{a-}$ であり、 $h_{a \pm}$ の範囲外である。したがって、加工材料7が形成済みの造形物4の方向に押し付けられ過ぎ、加工光30が照射されても加工材料7が全て溶けきらず、加工材料7の溶け残り72が発生する。その結果、加工後の造形物4に溶け残った加工材料7が含まれてしまう。

10

20

30

40

50

図5で示したように、形成済みの造形物4に応じた加工材料7の高さを加工中に適切な値に維持し続けることが高精度な加工には不可欠である。

【0040】

ワーク3に対して造形物4を加工し始める1層目の場合、ワーク3の高さが平坦であれば、加工材料7の高さを一定に維持して加工すればよい。しかし、2層目以降は、1つ前の層までに形成済みの造形物4の高さが、設計値通りの高さになっていない場合が考えられる。設計値通りの高さになっていない場合は、積層時の加工材料7の高さから、設計上の1層分の高さだけ金属材料を上昇させても、実際には、前回の積層時までの造形物4の高さが設計値と異なる部分では、加工材料7の高さが今回積層する部分に対応する加工材料7の適切な範囲内ではない可能性がある。また、位置によって造形物4の高さが一定にな

10

【0041】

もし、2層目では適切な高さ範囲である $h_a \pm$ であったとしても、複数回加工を行い、 n 層目 ($n \geq 2$) を加工する場合には、積層誤差が n 回加算されるため、適切な高さ範囲である $h_a \pm$ に入らない可能性がある。

そこで、本実施の形態では、加工中に形成済みの造形物4の高さを計測し、計測結果に基づいて、加工条件を制御する。加工中に形成済みの造形物4の高さを計測することで、1層の付加加工に対する加工経路の走査回数を一度にしつつ、付加加工と形成済みの造形物4の高さの計測との両方を行うことができ、効率的に付加加工を行うことができる。

【0042】

次に、形成済みの造形物4に対して加工材料7を適切な高さに維持するため、形成済みの造形物4の高さをを用いて、加工後のビード高さを計測する光切断方式を用いた高さ計測動作について図6及び図7を用いて説明する。

20

図6は、本実施の形態の積層造形装置100を用いて加工している様子をY方向から見た側面図である。本実施の形態では、計測用照明部8からラインビーム41, 42を投影する。

図6では、ビードが、加工材料7の供給位置と加工光30の光軸CLに対して対向方向である - X方向に延びるように加工される様子を示している。

図7は、X方向から見た計測用照明部8からラインビーム41, 42が投影される様子である。

30

本実施の形態では、計測用照明部8は、図6に示す通り、加工光30の光軸CLに対して、加工材料供給部10の加工材料7の供給方向と対向する方向に設置される。また、図7に示す通り、X軸上に設置されたとする。

【0043】

図6において、ワーク3上面に対する造形物4の高さを Z とし、ラインビーム41, 42の照射角度を θ とする。

ワーク3上面のラインビーム41, 42の照射位置と、造形物4上のラインビーム41, 42の照射位置Lの差を X とすると、 $X = Z \times \tan \theta$ で表される。本実施の形態では、受光光学系の光軸は加工光30の光軸CLと同軸の鉛直方向であるため、ラインビーム41, 42の光軸は、受光光学系の光軸に対して傾いている。

40

このように、受光光学系に対して計測用照明部8を - X方向に設置し、ラインビーム41, 42をXZ平面内で受光光学系の光軸に対して傾けて照射している場合、高さを変化した際のラインビーム41, 42の投影位置ずれは、加工材料7を供給する方向である + X方向に対向する方向を中心とした ± 90 度の角度範囲内の計測位置によらずX方向となる。

矢印Fは、ワーク3を載せた駆動ステージ6が + X方向に移動する様子を示している。

図6においても、形成済みの造形物4の高さを計測する位置は、加工位置に対して - X方向に移動した位置である。図6のように、+ X方向に駆動ステージ6を走査すれば、加工位置はワーク3上を - X方向に移動し、- X方向に延びるように直線状の造形物4を加工することができる。

50

【 0 0 4 4 】

付加工時に加工位置に加工光 3 0 が照射され、ワーク 3 上で加工材料 7 が溶けた状態となっている領域をメルトプール 3 1 とする。図 6 では、すでにワーク 3 上に造形物 4 が形成されており、造形物 4 上で、加工材料 7 が溶けた状態となっている領域であるメルトプール 3 1 がある。

【 0 0 4 5 】

メルトプール 3 1 端を加工位置の中心である加工光 3 0 の光軸 C L から距離 W 離れた位置とする。また、ビードが高温となっており、十分凝固していない高温部 3 2 をメルトプール 3 1 の端から距離 U 離れた位置とする。

また、本実施の形態では、加工光 3 0 の光軸 C L は受光光学系の光軸と等しい。

10

【 0 0 4 6 】

加工位置のメルトプール 3 1 近傍は高温となっており、駆動ステージ 6 を + X 方向に移動させていくと、メルトプール 3 1 は自然冷却されるが、加工後のメルトプール 3 1 の + X 方向外側には、高温部 3 2 が発生しており、さらに時間が十分たつと、加工材料 7 のビードとして一定の形状に凝固する。ビードが積層されて造形物 4 が形成される。

加工位置がワーク 3 上を移動していく方向は、加工位置の移動経路に沿った方向を指す。そして、高温部 3 2 は、加工位置がワーク 3 上を移動していく方向と反対方向に発生する。

【 0 0 4 7 】

図 6 の場合には、加工位置はワーク 3 上を - X 方向に移動するので、高温部 3 2 は加工位置に対して + X 方向に発生する。これに対して、形成済みの造形物 4 の高さは、加工位置がワーク 3 上を移動していく方向と同一方向である - X 方向の位置で計測される。

20

メルトプール 3 1 では加工材料 7 が溶融しており、形成済みの造形物 4 の高さの計測精度が低下する。また、メルトプール 3 1 は、金属の加工材料 7 を溶かす程の高温になるため、非常に高輝度な熱輻射光が発生し、高さ計測の妨げとなりやすい。したがって、計測位置は、加工位置の中心から少なくとも W 以上離れた位置とすることが望ましい。すなわち、計測位置は、メルトプール 3 1 と重ならないことが望ましい。

また、メルトプール 3 1 に計測位置を設けた場合には、ビードが完全に凝固しておらず液状になっていることから、計測用照明が十分反射されず、ビード上の照度分布が計測できなくなる可能性が生じる。また、計測位置によって溶け方が異なるため、計測位置に対するビード高さに計測誤差が発生する。凝固後の状態と溶けている状態とでは、金属の熱収縮により誤差が生じる。

30

したがって、上述の通り、計測位置をメルトプール 3 1 から離すことで、加工位置から出た熱輻射光とラインビーム 4 1 , 4 2 の反射光とを分離することを可能にする。

ただし、必要な造形物 4 の造形精度に対して十分な計測精度が得られる場合には、メルトプール 3 1 上や高温部 3 2 上など加工位置近傍を計測しても良い。

【 0 0 4 8 】

本実施の形態の積層造形装置 1 0 0 は、加工位置に対して加工位置の移動方向を計測するので、メルトプール 3 1 端よりも計測位置を離しておけば、高温部 3 2 でビードが溶けている影響を受けず、高精度に造形物 4 の高さを計測することができる。

40

【 0 0 4 9 】

ここで、図 6 では、ビードが、加工材料供給部 1 0 と反対方向である - X 方向に延びるように加工される場合について説明したが、加工材料供給部 1 0 と同じ方向であるビードが + X 方向に延びるように加工することも可能である。

続いて、図 8 は、本実施の形態の積層造形装置 1 0 0 を用いて + X 方向へ延びるように加工している様子を Y 方向から見た側面図である。

図 8 において、形成済みの造形物 4 の高さを計測する位置は、加工位置に対して - X 方向に移動した位置である。高温部 3 2 は、加工位置を基準として、- X 方向に加工位置の中心から距離 W + U の範囲に存在する。高温部 3 2 ではビードが完全に凝固しておらず、造形物 4 の高さ計測精度が低下する。

50

【 0 0 5 0 】

したがって、加工位置に対して - X 方向に移動した位置で高さを計測する場合には、造形物 4 上のラインビーム 4 1 , 4 2 の照射位置 L は加工位置の中心から少なくとも距離 W + U 以上離れた位置とすることがより望ましい。すなわち、高さが計測される計測位置は、加工時に加工材料 7 が溶解している範囲から外れた位置とすることがより望ましい。ただし、必要な造形物の造形精度に対して十分な計測精度が得られる場合には、加工位置近傍を計測しても良い。

図 8 のように、加工位置に対して高温部 3 2 が発生する方向と同一方向に計測位置を設けた場合でも、造形物 4 上のラインビーム 4 1 , 4 2 の照射位置 L が加工位置から十分遠ければ、ビードも十分凝固している。

10

【 0 0 5 1 】

しかしながら、ラインビーム 4 1 , 4 2 の照射角度を一定にする場合、計測用照明部 8 及び受光光学系の設置位置を加工ヘッド 2 から離す必要があり、装置が大きくなる。

また、受光部 1 6 の撮影エリア内にラインビーム 4 1 , 4 2 が入るように、視野が大きくなるよう受光光学系の倍率を決定する必要があり、受光部 1 6 の 1 p i x e l 当たりの解像度が低下するという課題がある。また、加工ヘッド 2 と計測用照明部 8 とを一体化した構成では計測できなくなることも考えられる。

【 0 0 5 2 】

したがって、加工位置から見て、加工位置がワーク 3 上を移動していく方向、すなわち、加工経路の進行方向に高さの計測位置を設けると、加工位置に近い位置で高さを計測することができる。つまり、図 6 のように、加工位置に対して高温部 3 2 が発生する方向とは反対方向に計測位置を設けることで、ビードが高温となり、凝固せずに溶けている影響を受けずに、加工位置に対して近い位置を計測することができる。

20

本実施の形態の積層造形装置 1 0 0 では、図 6 のようにラインビーム 4 1 , 4 2 は加工位置から見て加工経路の進行方向に照射されるものとして説明するが、図 8 の構成でも良い。

【 0 0 5 3 】

図 9 は、本実施の形態で用いる計測用照明部 8 が平坦なワーク 3 に投影するラインビーム 4 1 , 4 2 の X Y 平面の図である。図 9 において、加工位置の中心を X 0 軸と Y 0 軸の交点とし、加工材料 7 を供給する方向、つまり加工位置から見て加工材料が存在する方向を + X 0 方向とする。図 9 では、+ X 0 方向を 0 度方向、+ Y 0 方向を 9 0 度、加工材料 7 を供給する方向と対向する方向である - X 0 方向を 1 8 0 度、及び - Y 0 方向を 2 7 0 度方向として説明する。

30

ラインビーム 4 1 は、加工位置に対して - X 0 方向と + Y 0 方向を横切るように計測用照明部 8 のラインビーム 4 1 の光軸に対して、長手方向が X 軸から 回転して投影される。ラインビーム 4 1 の長手とは、ラインビーム 4 1 を投影した際の厚みである照射幅ではなく、対象物上に投影されたビームの長さを指す。

ラインビーム 4 2 は、加工位置に対して - X 0 方向と - Y 0 方向を横切るように計測用照明部 8 のラインビーム 4 2 の光軸に対して、長手方向が X 軸から - 回転して投影される。

40

図 9 では、ラインビーム 4 1 , 4 2 は - X 0 軸上で交わっているが、厳密に交わる必要は無く、例えば、1 本のラインが折れ曲がった形状でも良い。

【 0 0 5 4 】

つまり、加工光 3 0 の光軸 C L を角度範囲の中心とし、図 9 の B A で表される範囲である、- X 0 方向を基準とした少なくとも $\pm 9 0$ 度の角度範囲に、途切れることなくラインビームが照射されていればよい。

望ましくは、図 9 のラインビーム 4 1 , 4 2 のように、- X 方向を基準とした少なくとも $\pm 9 0$ 度以上に照射される方が良い。例えば $\pm Y 0$ 方向に形成されたビードを計測する場合、ビードを横切るようにラインビームが照射されている方が、造形物 4 の高さを求める精度がより高くなるためである。

50

【 0 0 5 5 】

また、ラインビーム 4 1 , 4 2 が交わる位置は、厳密に X 0 軸上である必要は無く、 + X 0 方向から加工光 3 0 の光軸 C L に対して対向する方向を基準とした $\pm 9 0$ 度の角度範囲内であれば良い。また、ラインビーム 4 1 , 4 2 の長手方向の X 0 軸からの回転量は、それぞれ方向は異なるが、と同じ値であるものとして説明するが、厳密に同じである必要は無く、 + X 0 方向から、加工光 3 0 の光軸 C L に対して対向する方向を基準とした $\pm 9 0$ 度の角度範囲内に照射されていればよい。

【 0 0 5 6 】

ラインビームが加工材料 7 の供給方向に対して加工光 3 0 の光軸 C L を挟んで対向する方向を基準とした少なくとも $\pm 9 0$ 度以上の角度範囲内にわたって照射されていればよい。そのため、本実施の形態では直線状のラインビーム 4 1 , 4 2 を用いて説明するが、厳密に直線である必要は無く、例えば、曲線又は波線でも良い。

10

また、各方向のラインビームの投影位置 L は図 6 に示した通り、加工位置の中心から W 離れていることが望ましい。例えば、 - X 0 方向、 $\pm Y 0$ 方向の造形物上の計測位置を加工位置から距離 L 1 とすると、最も計測位置が加工位置に近くなる 1 3 5 度方向 (+ Y 0 方向と - X 0 方向の間) と 2 2 5 度方向 (- Y 0 方向と - X 0 方向の間) の計測位置の加工位置からの距離 L 2 が W 以上離れていることが望ましい。

図 1 0 は、ラインビームを - X 方向、 $\pm Y$ 方向に延びたビード上に照射した際の X Y 平面の図である。ビード上に照射されたラインビームは平坦部と高さが異なるため、三角測量の原理によりラインビームの照射位置が対象物の高さに応じて X 方向にずれる。

20

【 0 0 5 7 】

図 1 1 は、本実施の形態に係るラインビーム 4 1 , 4 2 を造形物 4 に照射した際の受光素子上に結像された画像を示す図である。本実施の形態では、加工位置の X 方向画素中心 8 1 の線が受光素子上の X 方向の中心、視野中心 8 0 の線が受光素子上の Y 方向の中心となるように設定しているが、これに限られない。また、計測位置は、受光素子の視野内にある。

図 6 に示す通り、X Z 平面内では、ラインビーム 4 1 , 4 2 の光軸が、本実施の形態では鉛直方向である受光光学系の加工光 3 0 の光軸 C L に対して傾いている。

【 0 0 5 8 】

加工中に計測する場合には、加工位置が高輝度な発光点となり、メルトプール 3 1 の像が画像中心に写る。図 1 1 では、メルトプール 3 1 の中心を X 方向の画像中心とし、受光素子上のメルトプール 3 1 の幅 W 1 は、受光光学系の倍率 M を用いると、 $W 1 = M \times W$ となる。バンドパスフィルタ 1 4 を受光光学系内に設置し、計測用照明部 8 の出力を十分大きくすることで、メルトプール 3 1 での発光の影響を受けずにラインビーム 4 1 , 4 2 の受光素子上の投影位置から造形物 4 の高さを計測することができる。また、Y 方向の加工位置に相当する位置のラインビーム 4 1 , 4 2 の X 方向の投影位置を、造形物 4 の高さとする。

30

図 1 1 では、 - X 方向に加工する場合には、X 軸上のラインビーム 4 1 , 4 2 の投影位置から造形物 4 の高さを算出することができる。

【 0 0 5 9 】

高さ演算時の受光素子上の重心位置ずれの基準となる X 方向画素位置を、基準画素位置とする。本実施の形態では、受光光学系を焦点位置に調整した際のラインビーム 4 1 , 4 2 の受光素子上での投影位置の X 方向画素位置を基準画素位置 6 0 とする。本実施の形態では、ラインビーム 4 1 , 4 2 が X 軸に対して回転しているため、基準画素位置 6 0 は Y 方向画素ごとに異なる。例えば、図 1 1 において、基準画素位置 6 0 は、受光光学系の焦点に対応するラインビーム 4 1 , 4 2 の投影位置であり、X 方向画素中心 8 1 から L 1 P の位置である。

40

また、本実施の形態では、基準画素位置 6 0 は受光光学系の焦点に調整した際のラインビーム 4 1 , 4 2 の X 方向投影位置とするが、任意に設定することができる。また、ラインビーム 4 1 , 4 2 の焦点も受光光学系の焦点と同じ高さに設定されることが望ましい。

50

【 0 0 6 0 】

上述の通り、基準画素位置 6 0 となる受光素子の X 方向位置は、加工方向、つまり受光素子上の Y 方向位置によって異なる。そのため、現在の加工位置に対して今後の加工方向から計測位置、つまり受光素子上の Y 方向位置を算出する必要がある。

そこで、計測位置算出部 5 0 は、あらかじめ設定された加工経路のデータから現在の加工位置に対して今後の加工方向を算出する。その結果、受光素子上の重心計算を行う Y 方向位置を算出することができる。

【 0 0 6 1 】

今後の加工方向は、加工位置に対する X Y 平面上の角度として表される。例えば、図 1 1 では、+ X 方向に対して 1 8 0 度方向である。受光光学系の焦点に調整した際の受光素子上のラインビーム 4 1 , 4 2 の投影位置と加工方向 P との交点は、Y 方向位置が視野中心 8 0 の位置、つまり加工位置と同じ X 軸上であるため、Y 方向の視野中心 8 0 について、X 方向の重心位置を計算し、基準画素位置 6 0 との差異から造形物 4 の高さを算出することができる。

10

【 0 0 6 2 】

造形物 4 の高さとは基準画素位置 6 0 との差異から、ラインビーム 4 1 , 4 2 の照射位置は X 1 ずれて投影され、 $X_1 = M \times X$ となる。

受光部 1 6 の 1 画素の大きさを p とすると、1 画素当たりの高さ変位量 Z 1 は、 $Z_1 = p \times \tan \theta / M$ と表される。例えば、 $p = 5.5 \mu\text{m}$ 、 $M = 1/2$ 、 $\theta = 7.2 \text{ deg}$ とすると、 $Z_1 = 33.8 \mu\text{m}$ と表せる。

20

このように受光部 1 6 に結像されるラインビーム 4 1 , 4 2 の投影位置から、三角測量の原理により、造形物 4 の高さを算出することができる。

【 0 0 6 3 】

また、複数層の付加加工を行う場合、各層を積層するごとに Z 方向に駆動ステージ 6 を一定量上昇させるため、加工ヘッド 2 と高さセンサのワーク 3 の上面に対する高さが上昇する。

つまり、高さセンサの焦点位置も、駆動ステージ 6 の上昇に伴って上昇する。したがって、基準画素位置 6 0 となる Z 方向の高さも上昇する。

【 0 0 6 4 】

このように、基準画素位置 6 0 からの差分の計算を繰り返せば、造形物 4 の高さがワーク 3 の上面に対して高くなり、ワーク 3 の上面からのラインビーム 4 1 , 4 2 の反射光が受光できなくなったとしても、これまでの Z 軸上昇量の積分値と、受光素子上の視野内の造形物 4 の上面から反射したラインビーム 4 1 , 4 2 の照射位置と基準画素位置 6 0 との差分とから、造形物 4 の高さを算出することができる。

30

【 0 0 6 5 】

ここで、受光光学系の焦点の高さを基準として計測したい高さの範囲を D とすると、距離 D に対するラインビーム 4 1 , 4 2 の移動量 S は、 $S = D \times M / \tan \theta$ で表されるため、画像中心からメルトプール 3 1 端までの距離 W に対して $W + S$ となる視野を受光光学系としては最低限確保できるように、受光素子の X 方向の画素数 N を設計することが望ましい。

40

【 0 0 6 6 】

次に、加工材料 7 が供給される方向と平行な方向へ造形される場合以外の例として、本実施の形態では、+ Y 方向へ造形する際について説明する。図 1 2 は、+ Y 方向に加工する際の受光素子の画像を示している。加工光 3 0 の光軸 CL を回転角度範囲の中心とし、図 1 2 の BA で表される範囲である、- X 方向を基準とした少なくとも ± 90 度の角度範囲に、途切れることなくラインビームを照射する。その結果、図 1 1 のような - X 方向以外の方向に造形された場合であっても、造形物 4 の高さを計測することができる。

また、図 1 3 は、X ステージ及び Y ステージを同時に動かし、斜め方向、例えば + X 方向に対して 1 3 5 度方向に造形する際の受光素子上の画像を示している。

図 1 2 では、+ Y 方向に加工するため、受光光学系の焦点に調整した際の受光素子上の

50

ラインビーム 4 1、4 2 の投影位置と加工方向 P の交点は + X 方向に対して 9 0 度方向であり、受光素子上の基準画素位置 6 0 は加工位置から + Y 方向にある。したがって、基準画素位置 6 0 として使用する Y 方向画素は視野中心から + Y 方向に $L_1 P$ の位置であり、X 方向のラインビーム 4 1 の投影位置と基準画素位置 6 0 との差異を X_2 とすると、 X_2 から造形物 4 の高さを算出することができる。

また、図 1 3 では、X ステージと Y ステージを同時に動かし、+ X 方向に対して 1 3 5 度方向に造形するため、受光光学系の焦点に調整した際の受光素子上のラインビーム 4 1、4 2 の投影位置と加工方向 P との交点は、Y 方向が視野中心から $L_2 P$ の位置であり、X 方向のラインビーム 4 1 の投影位置と基準画素位置 6 0 との差異を X_3 とすると、 X_3 から造形物 4 の高さを算出することができる。

10

本実施の形態では、X 軸に対して上側の 9 0 度から 1 8 0 度の範囲について説明したが、X 軸に対して下側の 1 8 0 度から 2 7 0 度についても同様に、造形物 4 の高さを計算できる。

【0067】

このように、加工方向によらず、X 方向のラインビーム 4 1、4 2 の投影位置と基準画素位置 6 0 との差異から造形物 4 の高さを算出することができるため、加工方向毎に重心計算の方向を変更する必要が無い。計測位置が変化しても受光素子上のラインビームの重心位置の計算を X 方向に行うだけで良いため、高さ演算処理が簡便である。

【0068】

造形物 4 の高さは、Y 方向の画素 1 p i x e l から算出した値を使用しても良いし、複数の画素の平均を使用してもよい。複数の画素を使用する場合には、それぞれの Y 方向毎にあらかじめ設定した基準画素位置 6 0 と算出した重心位置の差分を計算し、それらの平均を算出すれば、造形物 4 の高さを算出することができる。

20

【0069】

ラインビーム 4 1、4 2 の照射位置は、一般的にラインビーム 4 1、4 2 の投影パターンの X 方向重心位置から計算される。

演算部 5 1 は、各 Y 方向画素に対して、X 方向の出力を算出し、ラインビーム 4 1、4 2 の断面強度分布から重心位置を算出する。

ラインビーム 4 1、4 2 の照射位置の算出方法は重心位置に限らず、光量のピーク位置など適切に選択される。

30

【0070】

ラインビーム 4 1、4 2 の照射幅は、照射位置の算出に対して十分な大きさである必要がある。

例えば、重心計算の場合には、狭すぎると重心計算ができず、太すぎるとラインビーム 4 1、4 2 の強度パターン変化の影響で誤差が生じやすい。したがって、5 ~ 1 0 p i x e l 程度が望ましい。

【0071】

このように、画像の Y 方向の各画素に対して X 方向の重心位置を算出し、この結果を高さに換算することで、造形物 4 の幅方向における造形物 4 の高さの断面分布を計測することができる。

40

しかし、投影したラインビームの Y 方向全ての画素について重心計算を行い、高さを計算する必要がなく、例えば、加工経路から算出されて計測位置のみでよいのであれば、計測位置の Y 方向位置の領域のみを使用してもよい。

【0072】

本実施の形態では、計測用照明部 8 は、- X 軸上にあるとして説明したが、厳密に - X 軸上である必要は無く、計測用照明部 8 のラインビーム 4 1、4 2 の光軸が、受光光学系の加工光 3 0 の光軸 C L から傾いた状態で照射されれば、設置位置は限定されない。

本実施の形態のように、加工材料 7 を加工ヘッド 2 側面から供給する構成であれば、加工材料 7 を供給する方向に対向する方向を基準とした $\pm 9 0$ 度方向である、- Y 方向から - X 方向、+ Y 方向までの範囲、すなわち 9 0 度から 2 7 0 度内の範囲にあることが望ま

50

しいが、さらに広い範囲にあっても良い。

【0073】

また、計測用照明部 8 は、1 台の照明装置からラインビーム 4 1 , 4 2 を照射するように述べたが、2 台の照明装置を近接して配置し、各々からラインビームを照射するようにしても良いし、1 台の照明装置及び、例えば、ホログラム素子といった光学素子を使用してビーム形状を生成しても良い。

【0074】

図 1 4 は、本実施の形態に係る造形物 4 の高さ制御の手順を示すフローチャートである。図 1 4 では、n 層の積層物を造形する場合について説明する。

【0075】

まず、ステップ S 1 1 では、1 層目の付加加工を開始する。ワーク 3 の上面が平坦なベースプレートであり、1 層目の付加加工時においては、計測位置にビードはないため、造形物 4 の高さを計測する必要はなく、図 1 4 における高さ計測のステップを省略する。しかし、例えば、造形物 4 の上にビードを重ねる場合、又は、ベースプレートがひずんでいる場合に正確な付加加工を行うためには、1 層目から造形物 4 の高さを計測してもよい。

【0076】

ステップ S 1 2 では、1 層目の付加加工が終了後 2 層目の付加加工を行うため、積層造形装置 1 0 0 は、駆動ステージ 6 を Z 方向に上昇させる。

ステップ S 1 3 では、積層造形装置 1 0 0 は、2 層目の付加加工を開始する。

ステップ S 1 4 では、計測位置算出部が、計測点となる受光素子上の Y 方向位置を算出する。

ステップ S 1 5 では、付加加工の開始と共に、ラインビーム 4 1 , 4 2 の投影位置と基準画素位置との差異から造形物 4 の高さを計測する。

ステップ S 1 6 では、計測位置に対する造形物 4 の高さの計測結果を保存する。

【0077】

ステップ S 1 7 では、計測した造形物 4 の位置で次回の加工をする場合に、ステップ S 1 6 で保存した計測結果を用いて加工制御を行う。ステップ S 1 5 において、計測できる造形物 4 の高さの間隔は、受光部 1 6 で受光素子として用いるイメージセンサのフレームレート及び加工位置の走査速度で決定される。例えば、フレームレートを $F [fps]$ 、駆動ステージ 6 の移動速度を $v [mm/s]$ とすると、造形物 4 の高さの加工位置の走査方向の計測間隔 $[mm]$ は、 $= v / F$ となる。このため、加工位置から計測位置までの距離を L とすると、 $L /$ 回前の周期で計測した結果が、今回の加工位置に対応する計測結果となる。

実際には加工位置のステージの位置と計測位置とが紐づけられているため、現在の加工位置の計測結果を参照することができる。つまり、n 層目を加工する際に、ある計測位置の n - 1 層目の積層物の高さを計測し、この計測から $L /$ 周期後に、加工位置である計測結果を用いて、最適な加工制御を行う。

【0078】

ステップ S 1 7 では、制御部 5 2 は、計測位置に新たに積層する際の加工条件を計測結果に応じて制御する。

最後に、ステップ S 1 8 では、積層造形装置 1 0 0 は、n 層の造形が終了したか否かを判定する。

ステップ S 1 8 において No、つまり n 層の造形が終了していない場合、積層造形装置 1 0 0 は、ステップ S 1 2 の処理に戻る。ステップ S 1 8 で Yes、つまり n 層の造形が終了した場合、積層造形装置 1 0 0 は、付加加工を終了する。

積層造形装置 1 0 0 がステップ S 1 2 ~ ステップ S 1 8 の処理を繰り返すことで、任意の形状の造形物 4 を積層加工することができる。

【0079】

図 1 5 は、積層造形装置 1 0 0 が第 2 層目を加工する場合の加工材料供給部 1 0 の高さを示す図である。図 1 5 では、1 層目で形成される造形物 4 の目標の積層高さを $T 0$ で示

10

20

30

40

50

す。ワーク 3 の上面を高さの基準とする。領域 I において、1 層目で形成される造形物 4 の積層高さを T_1 で表す。同様に、1 層目で形成される造形物 4 の高さを、領域 II では T_2 、領域 III では T_3 で表す。図 15 を用いて、加工制御の方法について説明を行う。
【0080】

図 15 (a) において、領域 I では、1 層目で形成される造形物 4 の積層高さ T_1 が、目標の積層高さ T_0 と同じ $T_1 = T_0$ で形成されたとする。領域 II では、1 層目で形成される造形物 4 の積層高さ T_2 が目標の積層高さ T_0 より高く、 $T_2 > T_0$ で形成されたとする。領域 III では、1 層目で形成される造形物 4 の積層高さ T_3 が目標の積層高さ T_0 より低く、 $T_3 < T_0$ で形成されたとする。

本実施の形態では、簡単のため、図 15 のように、造形物 4 の造形面の高さと加工材料 7 の先端の高さが等しい場合において、造形物 4 を目標の積層高さ T_0 に加工できるとする。つまり、1 層目で形成される造形物 4 の積層高さ T_1 が、目標の積層高さ T_0 と同じ $T_1 = T_0$ で形成された場合に、2 層目の積層高さを目標の積層高さ T_0 積層するための加工材料 7 の先端の高さを 1 層目の造形物 4 の目標の積層高さ T_0 と同じ高さとして説明するが、同じでなくともよい。

【0081】

図 15 (b) において、積層量を変更するための加工条件について述べる。

積層量を変更するための加工条件は、例えば、加工レーザ出力、加工材料 7 の送り速度、及び、ステージの送り速度といったパラメータである。

本実施の形態では、加工材料 7 の送り速度を制御する場合について説明する。

加工材料 7 の送り速度を制御すると、加工光 30 を照射中に加工位置に送り込む加工材料 7 の供給量を制御することができる。目標の積層高さ T_0 を積層するための加工材料 7 の送り速度を v_1 とする。

【0082】

領域 I の 2 層目の加工時、1 層目の計測結果 T_1 が目標の積層高さ T_0 と同じであるため、加工条件は変更せず、加工材料 7 の送り速度は v_1 とする。

領域 II の 2 層目の加工時、1 層目の計測結果 T_2 が目標の積層高さ T_0 よりも高いため、2 層目の積層量は $2 \times T_0 - T_2$ とする。

したがって、制御部 52 は、加工材料 7 の送り速度 v_2 を v_1 よりも遅く、 $v_2 < v_1$ とする。加工材料 7 の供給量を減らすことで、1 層目と合わせた 2 層目加工終了時の造形物 4 の高さが $2 \times T_0$ となるようにする。

同様に、領域 III の 2 層目の加工時、1 層目の計測結果 T_3 が目標の積層高さ T_0 よりも低いため、2 層目の積層高さは $2 \times T_0 - T_3$ とする。したがって、制御部 52 は、加工材料 7 の送り速度 v_3 を v_1 よりも速くする。加工材料 7 の供給量を増やすことで、1 層目と合わせた 2 層目加工終了時の造形物 4 の高さが $2 \times T_0$ となるようにする。

【0083】

つまり、加工条件は、造形物 4 に新たに積層されるあらかじめ設定された積層物の高さ T_0 と計測結果との差に応じて、制御部 52 によって制御される。

加工材料 7 の送り速度の制御値は、加工材料 7 の送り速度と積層されるビードの高さとの関係を予め算出して保持しておけばよい。また、複数の層を積層する場合、1 つ前の層の計測したビード高さに基づいて積層した結果を用いて、積層加工中に動的に制御値を変更してもよい。

【0084】

図 16 は、積層造形装置 100 が造形物 4 の高さの計測結果に基づいて加工材料供給部 10 の供給口の高さを制御する方法を示すため、第 2 層目を加工する場合の加工材料の先端部を示す図である。1 層目加工終了時の状態は、図 15 と同様とする。

領域 II 及び領域 III において、1 層目の造形物 4 の高さが目標高さ T_0 から大きく外れており、2 層目の付加加工時に加工材料供給部 10 を T_0 上昇させると、付加対象面に対する加工材料供給部 10 の供給口の高さが、図 5 で示した許容範囲 $h_{a \pm}$ に入らない場合が考えられる。このような場合には、駆動ステージ 6 の Z 方向の上昇量を変化させ

10

20

30

40

50

て、加工材料 7 の先端の高さを制御することが好ましい。

【 0 0 8 5 】

領域 I の 2 層目の加工時、1 層目の計測結果 T 1 が目標の積層高さ T 0 と等しいため、加工材料供給部 1 0 の加工材料 7 の先端の高さを T 0 とすればよい。

領域 I I の 2 層目の加工時、1 層目の計測結果 T 2 が目標の積層高さ T 0 よりも高いため、加工材料 7 の先端の高さをワーク 3 上面から T 0 とすると、加工材料 7 の先端の高さが許容範囲に入らない。したがって、加工材料 7 の先端の高さを T 2 とすることで、加工不具合を発生させずに 2 層目の付加加工を行うことができる。

領域 I I I の 2 層目の加工時、1 層目の計測結果 T 3 が目標の積層高さ T 0 よりも低い
10
ため、加工材料 7 の先端の高さをワーク 3 上面から T 0 とすると、加工材料 7 の先端の高さが許容範囲に入らない。したがって、加工材料 7 の先端の高さを T 3 とすることで、加工不具合を発生させずに 2 層目の付加加工を行うことができる。

【 0 0 8 6 】

上記のように、形成済みの造形物 4 の高さの計測結果に基づいて、加工材料 7 の先端の高さを調整することで、加工不具合の発生を抑制することができる。

また、加工材料 7 の先端の高さは、加工条件の一例である。加工材料 7 の先端の高さの制御は、加工材料 7 の先端の高さ以外の積層高さを変更するための加工条件、例えば、加工材料 7 の送り速度、加工用レーザ 1 の出力又は加工光 3 0 の照射時間と合わせて制御することが好ましい。

【 0 0 8 7 】

また、加工材料 7 の先端の高さの制御方法の別の例として、n - 1 層目を加工する前に、領域 I ~ I I I の n - 2 層目の平均高さが目標の積層高さ T 0 よりも高い場合、n - 1 層目の加工終了後に上昇させる加工材料供給部 1 0 の高さの変化量を、n - 2 層目の平均高さとし、n 層目加工中に n - 1 層目の計測結果を用いて最適な加工制御を行ってもよい。
20

また、もう一つ別の加工材料 7 の先端の高さの制御方法の例として、図 1 6 のように、n 層目の領域 I、n 層目の領域 I I、n 層目の領域 I I I でそれぞれの領域の造形物 4 の高さの計測結果が異なる場合、領域ごとに上昇させる加工材料 7 の先端の高さの変化量を変更してもよい。

【 0 0 8 8 】

このように、n 層目を加工する際に直前に計測した n - 1 層目の積層高さの計測結果を用いて加工条件を最適に制御することで、図 5 に示した通り、常に目標の積層高さを $h_a \pm$ に維持することができ、加工不具合を発生させずに加工を継続することができる。
30

図 1 5 及び図 1 6 では、加工材料 7 の送り速度及び加工材料 7 の先端の高さを変更して制御を行ったが、別のパラメータ、又は複数のパラメータを変更して制御を行っても良い。例えば、積層量を少なくしたい場合には、加工用レーザ 1 の出力を小さくし、ステージ速度を増加させて加工位置を移動させるといった方法が考えられる。

【 0 0 8 9 】

また、図 8 に示した通り、加工位置に対して高温部 3 2 が発生する方向と同一方向に計測位置を設けた場合、n 層目を積層している際には、n 層目の積層後の高さを計測することになる。したがって、計測した加工材料供給部 1 0 の高さを用いて加工条件を制御する
40
場合には、計測位置に対する加工材料供給部 1 0 の高さ計測結果を 1 層分全て保存しておき、n + 1 層目を積層する際に使用すればよい。また、造形物 4 の高さを計測する基準画素位置も n - 1 層目の目標の積層高さ位置ではなく、n 層目の目標の積層高さ位置としておく方が良い。

【 0 0 9 0 】

このように、本実施の形態の積層造形装置 1 0 0 は、加工中に積層加工の進行方向のビード高さを計測し、次回加工時に加工条件を適切となるように制御することで、目標の積層高さを維持することができる。

また、本実施の形態の積層造形装置 1 0 0 は、供給口とビードとの間の高さを一定に維持できるため、積層造形装置 1 0 0 は、造形物 4 を形成する精度の低下を抑制することが
50

でき、高精度な積層加工を実現することができる。

【0091】

本実施の形態の積層造形装置100は、加工位置に近い位置のビード高さを計測するため、受光光学系を加工ヘッド2と一体化されて小型化した装置について述べたが、厳密に受光光学系と加工ヘッド2とが一体化している必要は無く、加工ヘッド2とは別体として受光光学系を配置し、加工位置の近傍の積層物高さを計測する場合でも同様の効果が得られることは言うまでもない。

ここで、本実施の形態に係る受光光学系は、ラインビーム41, 42を用いて高さ計測を行うため、加工用と高さ計測用とを併用しない集光レンズ15は、ラインビーム41, 42のみを受光部16に結像できる光学系であった方がよい。

10

【0092】

本実施の形態では、XYZ方向のいずれか2軸、又は全てを同時に動かすことで斜め方向に移動することが可能であり、また、XY面内、YZ面内での回転も行うことができる5軸ステージの駆動ステージ6を用いることで、直線以外の形状を造形する場合であっても、造形物4の高さを計測することができる。

【0093】

また、本実施の形態では、鉛直方向に対して照明光を傾けて照射しているため、造形物4の形状及び駆動ステージ6の回転によって、加工位置からのラインビーム41, 42の照射位置が変化する。

図17は、造形物4の高さに対する加工位置からのラインビーム41, 42の照射位置を説明するための図である。図17では、簡単のため、加工材料供給部10の記載は省略している。また、分かりやすくするため、ラインビーム41, 42の中心軸を中心軸40として表す。

20

【0094】

図17(a)は、積層の目標高さがT1の場合に設計通りのビードが造形されている場合を示している。2層目を積層する際には、ビードの高さT1と同じだけ加工ヘッド2を上昇させるため、加工位置を計測するための位置に駆動ステージ6を移動させると、加工光30の光軸CLに対する計測位置CHの距離はK1となる。

図17(b)は、1層目の積層高さT2が目標の積層高さT1よりも高い場合を示している。2層目の加工時、加工ヘッド2をT1だけ上昇させ、加工位置を計測するための位置に駆動ステージ6を移動しても、加工光30の光軸CLに対する計測位置CHの距離は $K2 > K1$ となる。

30

図17(c)は、1層目の積層高さT3が目標の積層高さT1よりも低い場合を示している。2層目の加工時、加工ヘッド2をT1だけ上昇させ、加工位置を計測するための位置に駆動ステージ6を移動しても、加工光30の光軸CLに対する計測位置CHの距離は $K3 < K1$ となる。

上記のように、斜めからラインビーム41, 42を照射する光切断方式では、形成済みの造形物4の高さが目標の積層高さT1からずれると、計測位置のずれが生じる。造形物4の上面が平坦であれば、計測位置のずれの影響は小さいが、複雑な3次元形状のような曲面形状であれば、計測位置ずれが発生する。

40

【0095】

しかし、本実施の形態に係る計測位置算出部50は受光素子上のラインビーム41, 42の投影位置から加工位置に対する計測位置を算出することができる。

したがって、造形物4の高さだけでなく、加工位置に対するラインビーム41, 42の計測位置も計算し、その計測位置と計測した造形物4の高さを保存しておけば、加工位置に対する加工条件の精度をより高精度に行うことができる。

【0096】

また、基準画素位置60はラインビーム41, 42の焦点、すなわち、受光光学系の焦点として設定するが、造形物形状が基準画素位置の焦点平面に対して傾いていた場合には、基準画素位置60が造形物4の目標高さとは異なってしまう。

50

図 18 は、造形物 4 の形状に対する基準画素位置と目標高さを説明するための図である。また、分かりやすくするため、ラインビーム 4 1 , 4 2 の中心軸を中心軸 4 0 として表す。

【 0 0 9 7 】

図 18 (a) は、目標の積層高さ T 1 の平坦なビードが設計通り造形されている場合を示している。2 層目の加工時、ビードの高さ T 1 と同じだけ加工ヘッド 2 を上昇させるため、加工位置を計測するための位置に駆動ステージ 6 を移動させると、ラインビーム 4 1 , 4 2 の焦点、すなわち、受光光学系の焦点を基準画素位置 6 0 とすると、目標の積層高さからの差異を計測することができる。

【 0 0 9 8 】

図 18 (b) は、加工位置は目標高さ T 1 の平坦なビード上であるが、計測位置が造形平面に対して傾いた造形物 4 上となる場合を示している。

積層造形装置 1 0 0 では、ワーク 3 に対して垂直に加工光 3 0 を照射し造形を行うことが望ましいため、図 18 (b) のような傾いた形状を造形する場合には、駆動ステージ 6 を回転させて加工光 3 0 に対する造形面を傾けて、造形面に対して加工光 3 0 が垂直となった状態で造形を行う。

しかし、本実施の形態では、加工位置の計測位置が異なるため、図 18 (b) のように、加工面に対して傾いた造形面の高さを計測することが考えられる。この場合、ラインビーム 4 1 , 4 2 の焦点、すなわち、受光光学系の焦点を基準画素位置として造形物 4 の高さを算出すると、目標高さに対して Z 1 の差異があるように計測される。しかし、造形物を傾けた際には目標高さ通りに造形されているとすると、誤って計測した高さ Z 1 を用いて加工条件を制御すると造形精度が低下してしまう。

【 0 0 9 9 】

しかし、本実施の形態の演算部 5 1 は、今後の加工経路から計測位置となる造形面が加工面に対して傾いているかどうかを判別することができるため、任意の形状に対して各計測位置に対する目標の積層高さを算出することが可能である。

したがって、計測した高さの結果を、例えば駆動ステージ 6 による造形物の回転量を用いて補正することにより、より高精度な計測が可能となる。

【 0 1 0 0 】

本実施の形態では、ビードから形成された造形物 4 の高さを計測するとしたが、玉ビードである場合であっても同様な効果が得られる。

【 0 1 0 1 】

このように、本実施の形態では、計測用照明部 8 からラインビーム 4 1 , 4 2 を、受光光学系の加工光 3 0 の光軸 C L に対して傾いた方向から、加工材料 7 を供給する方向 (+ X 方向) と対向する方向の ± 90 度の角度範囲に途切れることなく照射することによって、加工方向が変化しても、小型な装置で造形物 4 の高さを計測することができる。したがって、複雑な 3 次元形状を造形する場合においても、造形物 4 の高さを計測できるので、高精度な積層加工が可能となる。また、加工方向毎にラインビームを設けているのではなく、加工材料 7 を供給する方向に対向する方向の ± 90 度の角度範囲を照射するようにラインビーム 4 1 , 4 2 を設けていることから、加工材料 7 を供給する方向に向かって重心位置の計算を行うだけで良いため、高さ演算処理が簡便となる。

【 0 1 0 2 】

実施の形態 2 .

実施の形態 1 と実施の形態 2 が異なる点は、ラインビームの形状の違いである。

本実施の形態に係るラインビームは、XY 平面上で円弧状のラインビーム 4 1 2 , 4 2 2 を用いる点である。

なお、以下では、実施の形態 1 との相違点のみ説明し、同一又は相当部分についての説明は省略する。符号についても、実施の形態 1 と同一又は相当部分は同一符号とし、説明を省略する。

【 0 1 0 3 】

10

20

30

40

50

実施の形態 1 では直線状のラインビーム 4 1, 4 2 を用いたため、図 1 0 に示した通り、加工方向によって加工位置からの計測位置が変化していた。

本実施の形態では、加工方向によらず加工位置から同じ距離の造形物高さを計測するため、ラインビーム 4 1 2, 4 2 2 の形状が実施の形態 1 と異なる。

【0104】

図 1 9 は、本実施の形態にかかる計測用照明部 8 が平坦なワーク 3 に投影するラインビーム 4 1 2, 4 2 2 の X Y 平面の図である。図 1 9 で示すように、本実施の形態では、X Y 平面上で円弧状のラインビーム 4 1 2, 4 2 2 を用いる。計測用照明部 8 の設置位置や X Z 平面内でラインビームの鉛直方向に対する光軸傾きは実施の形態 1 と同様である。このように、X Y 平面上で円弧状のラインビーム 4 1 2, 4 2 2 を用いると、基準画素位置となる平面上でのラインビームの加工位置からの投影位置が加工方向によらず常に距離 L_1 となる。

10

【0105】

実施の形態 1 では、最も計測位置が加工位置に近くなる + Y 方向及び - X 方向の間である 1 3 5 度方向と、- Y 方向及び - X 方向の間である 2 2 5 度方向の計測位置の加工位置からの距離 L_2 が W 以上離れており、- X 方向及び ± Y 方向の造形物 4 上の計測位置の加工位置からの距離 $L_1 > L_2$ は加工位置からさらに離れた位置であった。

一方、本実施の形態では、全ての加工方向で加工位置に最も近い位置を計測することができるため、ラインビーム 4 1 2, 4 2 2 の照射角度を一定にする場合、計測用照明部 8 の設置位置を加工ヘッド 2 に近づけ、実施の形態 1 よりもさらなる小型化が可能である。

20

【0106】

また、ラインビーム 4 1 2, 4 2 2 が入る受光部 1 6 の撮影エリアが小さいため、受光部 1 6 の 1 p i x e l 当たりの解像度を大きくすることができ、計測精度を向上できる。

【0107】

実施の形態 3 .

実施の形態 1 及び実施の形態 2 と、実施の形態 3 が異なる点は、計測用照明部と受光光学系の設けられる位置の違いである。

なお、以下では、実施の形態 1 及び実施の形態 2 との相違点のみ説明し、同一又は相当部分についての説明は省略する。符号についても、実施の形態 1 及び実施の形態 2 と同一又は相当部分は同一符号とし、説明を省略する。

30

【0108】

図 2 0 は、本実施の形態に係る積層造形装置 1 0 3 の構成を示す図である。積層造形装置 1 0 3 において、計測用照明部 8 は、加工ヘッド 2 に組み込まれており、受光光学系及び受光素子を含む受光ユニット 1 7 は加工ヘッド 2 の側面に取り付けられている。

積層造形装置 1 0 3 は、計測用照明部 8 がラインビーム 4 1, 4 2 を加工光 3 0 の光軸 C L と平行に投影する。また、受光ユニット 1 7 は、斜め方向に反射した反射光を受光する。

これにより、ラインビーム 4 1, 4 2 の計測位置ずれが発生しないため、高精度に造形物 4 の高さを計測することができる。

【0109】

図 2 1 は、図 2 0 に示す加工ヘッド 2 の内部構成を示す図である。図 2 1 では、積層造形装置 1 0 3 の側面図を示している。加工ヘッド 2 3 は、投光レンズ 1 1、ビームスプリッタ 1 2、対物レンズ 1 3、及び計測用照明部 8 を有する。

40

計測用照明部 8 が出力するラインビーム 4 1, 4 2 は、ビームスプリッタ 1 2 を透過し、対物レンズ 1 3 を通して計測位置である造形物 4 上の加工位置に照射される。図 2 1 では、分かりやすくするため、ラインビーム 4 1, 4 2 の中心軸を中心軸 4 0 として表している。

加工用の対物レンズ 1 3 を通すため、計測用照明部 8 は、対物レンズ 1 3 を通して造形物 4 上に集光されるような特性をもったビームを出射する。

受光ユニット 1 7 は、集光レンズ 1 5 及び受光部 1 6 から構成される。本実施の形態の

50

ように、受光ユニット 17 は、ラインビーム 41, 42 の照射波長を選択的に透過させるバンドパスフィルタ 14 をさらに有することが好ましい。

【0110】

本実施の形態では、計測用照明部 8 がラインビーム 41, 42 を加工光 30 の光軸と平行に投影し、受光ユニット 17 が、斜め方向に反射した反射光を受光することで、図 17 に示した造形物 4 の高さによる計測位置ずれの影響を受けずに造形物 4 の高さを計測できる。したがって、複雑な 3 次元形状を計測する場合にも加工位置に対して常に一定距離の造形物高さを計測することができるため、加工条件の制御を高精度に行うことができ、造形精度を向上することができる。

【0111】

また、図 21 では、計測用照明部 8 を加工ヘッド 23 と一体化した構成例について説明したが、本実施の形態は係る例に限定されない。例えば、計測用照明部 8 と加工ヘッド 2 とが別体であってもよい。この場合、計測用照明部 8 から出射されるラインビーム 41, 42 の光軸と、加工光 30 の光軸が平行であり、加工位置に対して所定の距離である計測位置にラインビームが照射されていればよい。さらに、受光ユニット 17 は、斜め方向に反射した反射光を受光する構成であれば同様の効果が得られることは言うまでもない。

【0112】

以上の実施の形態に示した構成は、本発明の内容の一例を示すものであり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略、変更することも可能である。

【符号の説明】

【0113】

- 1 加工用レーザ
- 2, 23 加工ヘッド
- 3 ワーク
- 4 造形物
- 41, 42 ラインビーム
- 5 固定具
- 6 駆動ステージ
- 7 加工材料
- 8 計測用照明部
- 9 ガスノズル
- 10 加工材料供給部
- 50 計測位置算出部
- 51 演算部
- 52 制御部

10

20

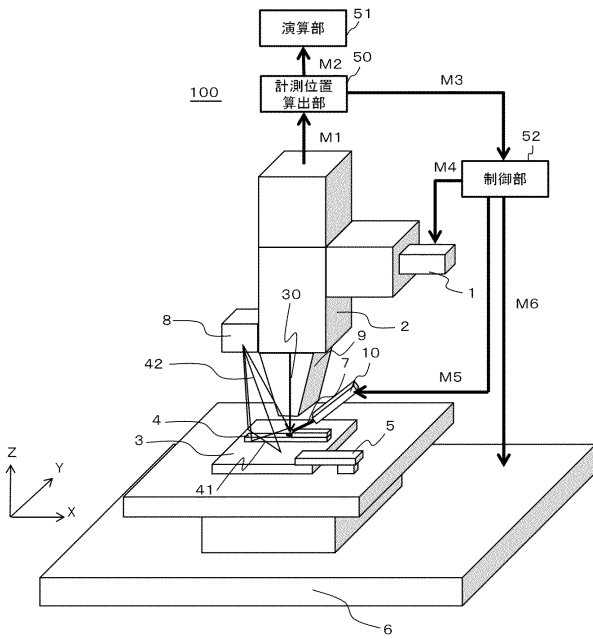
30

40

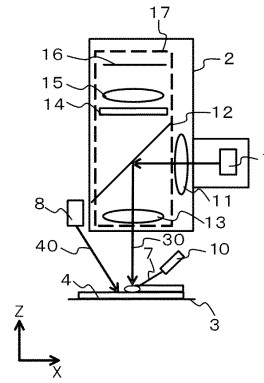
50

【図面】

【図 1】



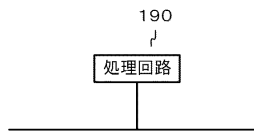
【図 2】



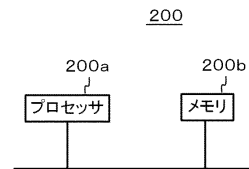
10

20

【図 3】



【図 4】

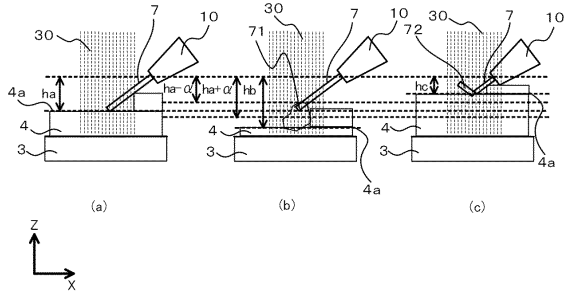


30

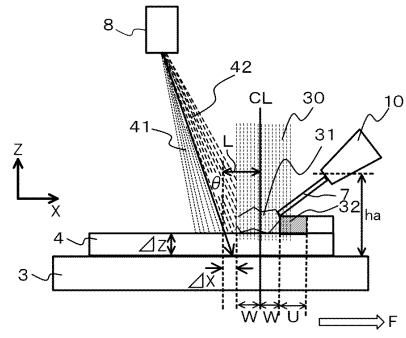
40

50

【図 5】

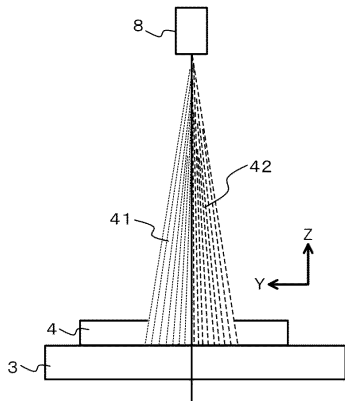


【図 6】

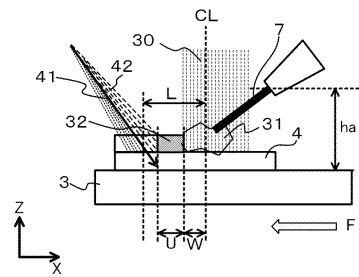


10

【図 7】



【図 8】



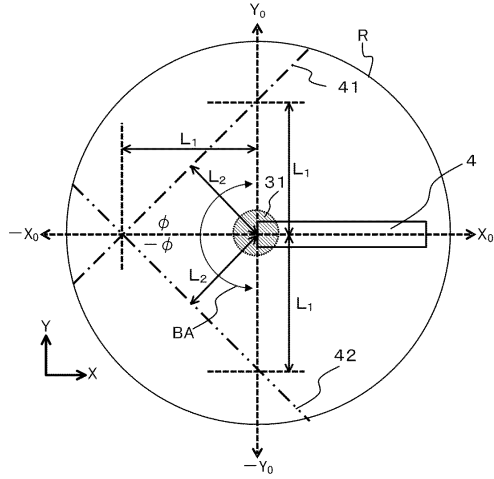
20

30

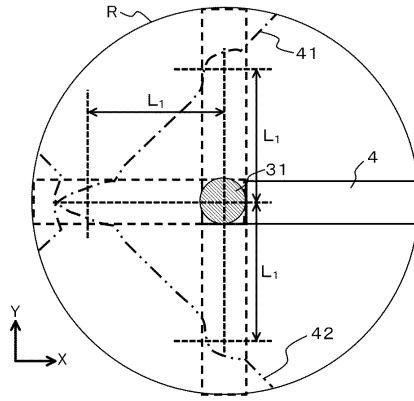
40

50

【 図 9 】

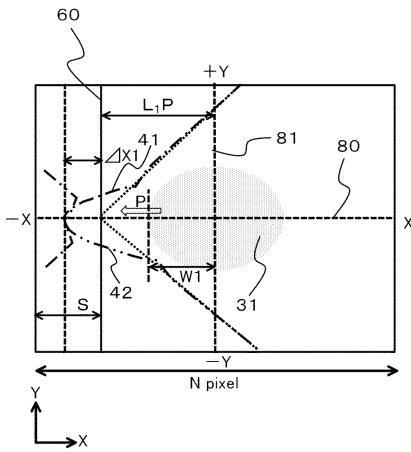


【 図 1 0 】

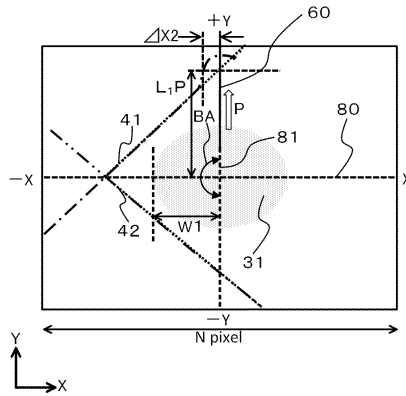


10

【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



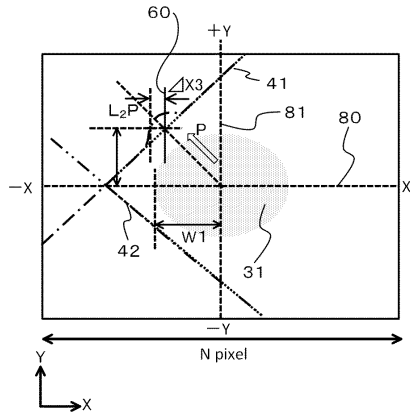
20

30

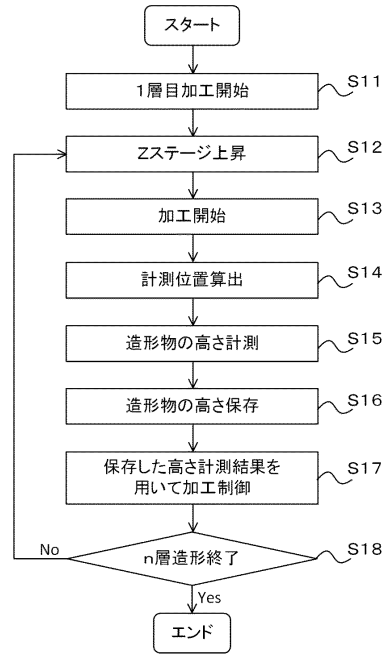
40

50

【図 1 3】



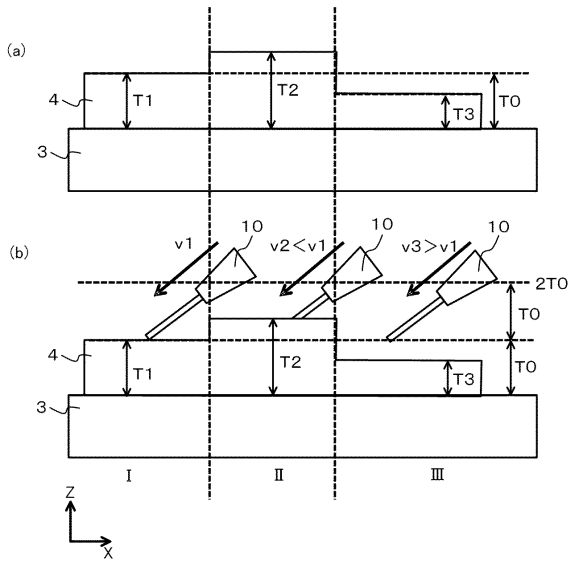
【図 1 4】



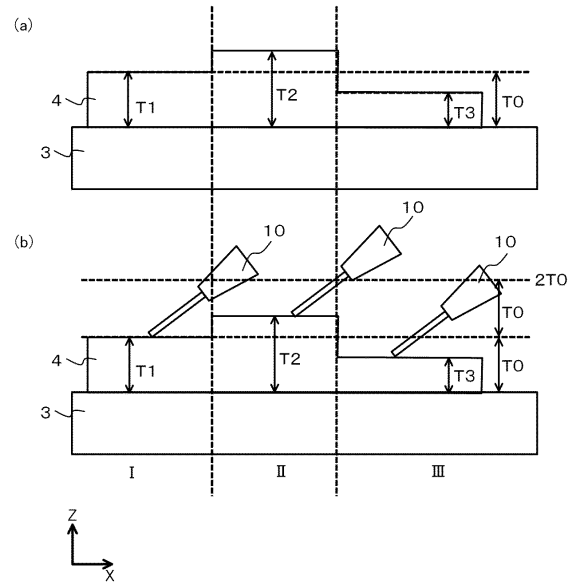
10

20

【図 1 5】



【図 1 6】

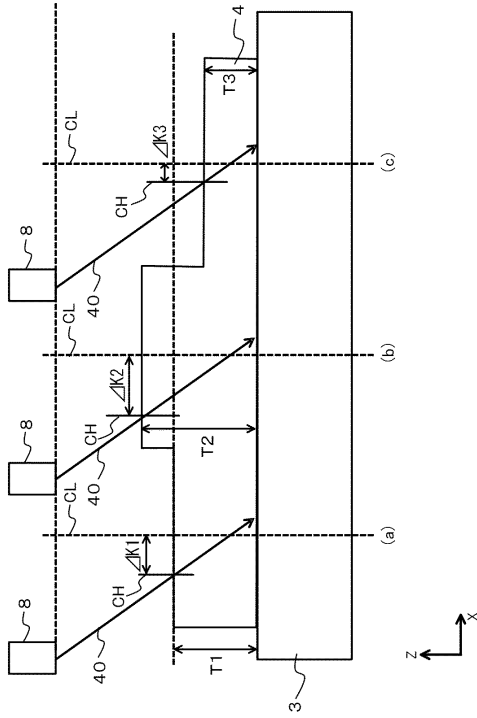


30

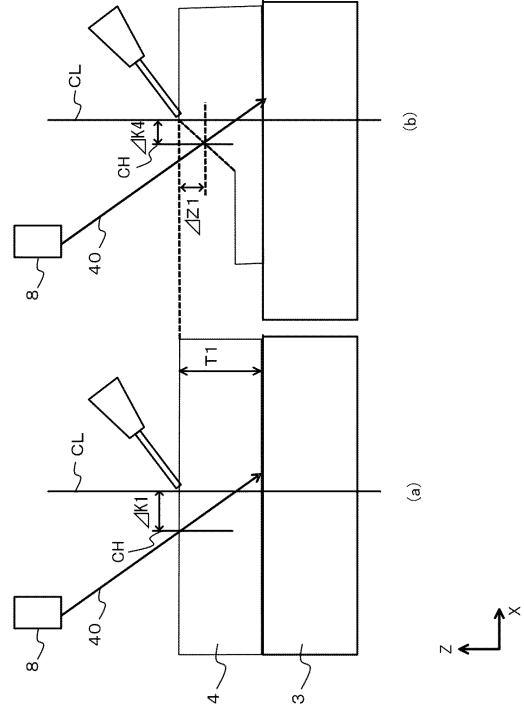
40

50

【図 17】



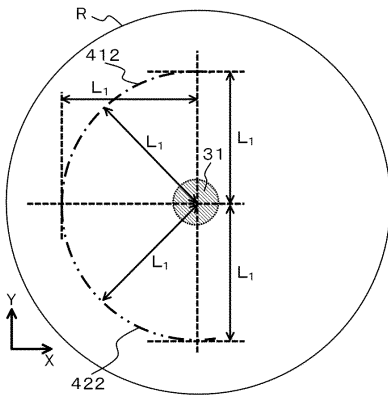
【図 18】



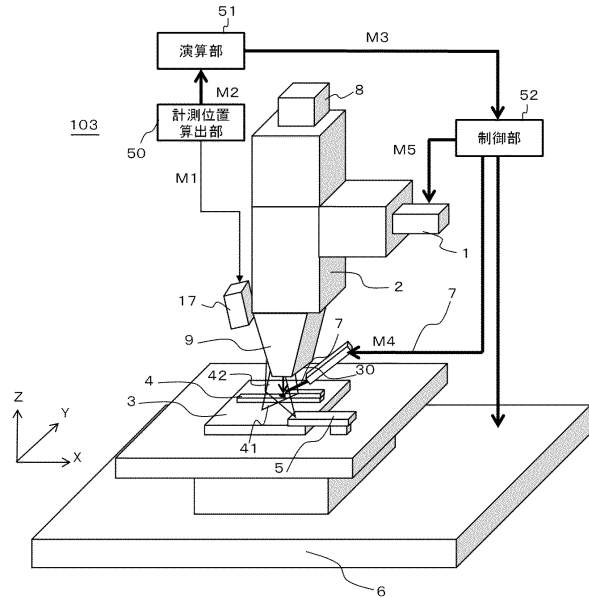
10

20

【図 19】



【図 20】

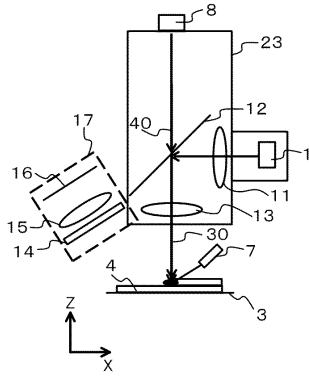


30

40

50

【図 21】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類		F I	
B 3 3 Y	30/00 (2015.01)	B 3 3 Y	30/00
B 2 2 F	12/48 (2021.01)	B 2 2 F	12/48
B 2 2 F	10/28 (2021.01)	B 2 2 F	10/28
B 2 2 F	10/18 (2021.01)	B 2 2 F	10/18

(56)参考文献 特許第 6 5 7 6 5 9 3 (J P , B 1)
特表 2 0 1 9 - 5 2 6 4 7 3 (J P , A)
特開 2 0 1 3 - 2 2 1 7 9 9 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
B 2 2 F 1 0 / 0 0 - 1 2 / 9 0
B 3 3 Y 1 0 / 0 0 - 9 9 / 0 0