

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7468559号
(P7468559)

(45)発行日 令和6年4月16日(2024.4.16)

(24)登録日 令和6年4月8日(2024.4.8)

(51)国際特許分類

F I

B 2 2 F	12/90	(2021.01)	B 2 2 F	12/90
B 2 2 F	10/25	(2021.01)	B 2 2 F	10/25
B 2 2 F	10/60	(2021.01)	B 2 2 F	10/60
B 2 2 F	12/30	(2021.01)	B 2 2 F	12/30
B 2 2 F	12/44	(2021.01)	B 2 2 F	12/44

請求項の数 18 (全42頁) 最終頁に続く

(21)出願番号	特願2022-41056(P2022-41056)
(22)出願日	令和4年3月16日(2022.3.16)
(62)分割の表示	特願2020-106953(P2020-106953)の分割
原出願日	平成26年11月14日(2014.11.14)
(65)公開番号	特開2022-106693(P2022-106693 A)
(43)公開日	令和4年7月20日(2022.7.20)
審査請求日	令和4年3月16日(2022.3.16)

(73)特許権者	000004112 株式会社ニコン 東京都港区港南二丁目15番3号
(74)代理人	100104765 弁理士 江上 達夫
(72)発明者	柴崎 祐一 東京都港区港南二丁目15番3号 株式 会社ニコン内
審査官	祢屋 健太郎

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 造形装置及び造形方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ワークの対象面上に三次元造形物を形成するDED(Directed Energy Deposition)方式の造形装置であって、

前記ワークを動かす移動システムと、

前記対象面の位置情報を取得可能な計測システムであって、前記三次元造形物の形状情報を取得可能な計測システムと、

ビームを射出するビーム照射部と、前記ビーム照射部からのビームが照射される位置に造形材料を供給する材料処理部と、を有するビーム造形システムと、

前記ワークと前記ビーム照射部からのビームとを相対的に移動させつつ前記造形材料を前記材料処理部から供給することにより前記対象面上の目標部位に造形が施されるように、前記対象面上に形成すべき前記三次元造形物の形状に関するデータと、前記計測システムによって取得された計測結果とに基づいて、前記移動システムと前記ビーム造形システムとを制御する制御装置と

を備え、

前記計測システムは、前記ビーム造形システムによる造形が終了した後に、前記ビーム造形システムによる造形が済んだ前記三次元造形物の前記形状情報を取得する造形装置。

【請求項2】

前記制御装置は、前記計測システムにより取得された前記形状情報に基づいて、前記三次元造形物の寸法誤差を求める

10

20

請求項 1 に記載の造形装置。

【請求項 3】

前記制御装置は、前記寸法誤差を用いて付加加工の合否判定を行う

請求項 2 に記載の造形装置。

【請求項 4】

前記制御装置は、前記合否判定が不合格であった場合に、前記ビーム照射部からのビームを用いて修正加工を行う

請求項 3 に記載の造形装置。

【請求項 5】

前記合否判定が不合格であった場合に、前記計測システムを用いて取得された前記形状情報に基づいて、修正加工を施す

請求項 3 又は 4 に記載の造形装置。

【請求項 6】

前記計測システムは、修正加工後の前記三次元造形物の形状を検査するために修正加工後の前記三次元造形物の形状情報を取得する

請求項 4 又は 5 に記載の造形装置。

【請求項 7】

前記修正加工は、前記三次元造形物のうちの余分な造形材料を除去する加工を含み、

前記ビーム造形システムは、前記除去加工によって除去された造形材料を回収する回収装置を有する

請求項 4 から 6 のいずれか一項に記載の造形装置。

【請求項 8】

前記移動システムは、前記ワークを保持可能な可動部材を有し、

前記計測システムは、前記ビーム造形システムによる造形が済んだ前記三次元造形物を前記可動部材に保持したままの状態、前記三次元造形物の前記形状情報を取得する

請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の造形装置。

【請求項 9】

前記ワークの寸法誤差に基づいて、前記ワークを前記可動部材で保持したまま、前記形状情報に基づき、前記ビーム造形システムを用いて前記ワークに修正加工を施す

請求項 8 に記載の造形装置。

【請求項 10】

前記移動システムは、前記計測システムにより前記ワークの前記形状情報が取得される前に、前記計測システムの下方に前記ワークを移動させる

請求項 8 又は 9 に記載の造形装置。

【請求項 11】

前記移動システムは、前記計測システムにより前記ワークの前記形状情報が取得された後に、前記ビーム造形システムの下方に前記ワークを移動させ、

前記ビーム造形システムは、前記ワークの前記形状情報に基づいて、前記ワークに修正加工を施す

請求項 8 から 10 のいずれか一項に記載の造形装置。

【請求項 12】

前記計測システムは、前記計測システムの下方に移動した前記ワークを計測する

請求項 8 から 11 のいずれか一項に記載の造形装置。

【請求項 13】

前記計測システムは、前記移動システムにより移動可能な状態で前記ワークの前記対象面の位置情報を取得可能であり、かつ、前記三次元造形物の形状情報を取得可能な三次元計測機を含む

請求項 1 から 12 のいずれか一項に記載の造形装置。

【請求項 14】

前記計測システムは、前記ビーム造形システムによる造形が終了した後に、前記ビーム

10

20

30

40

50

造形システムによる造形が済んだ前記三次元造形物の前記形状情報を、初めて取得する
請求項 1 から 1 3 のいずれか一項に記載の造形装置。

【請求項 1 5】

前記制御装置は、造形終了後に、前記ワーク上に付加された部分の表面の少なくとも一部の形状情報を、前記計測システムを用いて取得する

請求項 1 から 1 4 のいずれか一項に記載の造形装置。

【請求項 1 6】

前記制御装置は、前記対象面上に形成すべき三次元造形物の形状に関するデータである 3 D データと、前記計測システムを使って取得された前記対象面の前記位置情報とに基づいて、前記移動システムと前記ビーム造形システムとを制御する

請求項 1 から 1 5 のいずれか一項に記載の造形装置。

【請求項 1 7】

前記修正加工は、前記付加された部分のうちの余分な造形材料を除去する加工及び付加加工の少なくとも一方を含む

請求項 4 から 6、9 及び 1 1 のいずれか一項に記載の造形装置。

【請求項 1 8】

ワークの対象面上に三次元造形物を形成する D E D (D i r e c t e d E n e r g y D e p o s i t i o n) 方式の造形方法であって、

計測システムに前記対象面の位置情報を計測させることと、
前記対象面上に形成すべき前記三次元造形物の形状に関するデータと、前記計測システムによって取得された計測結果とに基づいて、前記ワークとビームとを相対的に移動させつつ前記ビームが照射される位置に造形材料を供給することにより前記対象面上の目標部位に造形を施すことと、

前記造形が終了した後に、造形が済んだ前記三次元造形物の形状情報を取得することとを含む造形方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、造形装置及び造形方法に係り、さらに詳しくは、対象面上に三次元造形物を形成する造形装置及び造形方法に関する。本発明に係る造形装置及び造形方法は、ラピッドプロトタイプング(3 D プリンティング、あるいは付加製造、あるいはダイレクトデジタル製造と呼ばれることもある)による三次元造形物の形成に好適に用いることができる。

【背景技術】

【0 0 0 2】

C A D データから直接 3 D (三次元) 形状を生成する技術は、ラピッドプロトタイプング(3 D プリンティング、あるいは付加製造、あるいはダイレクトデジタル製造と呼ばれることもあるが、以下、ラピッドプロトタイプングを総称として用いる)と呼ばれ、主として形状の確認を目的とした試作品を極めて短いリードタイムで製作することに寄与してきた。3 D プリンタ等のラピッドプロトタイプングにより三次元造形物を形成する造形装置を、扱う材料で分類すると、樹脂を扱うものと金属を扱うものに大別できる。ラピッドプロトタイプングで製作される金属製の三次元造形物は、樹脂製の場合と異なりもっぱら、実際の部品として用いられる。すなわち、形状確認用の試作部品ではなく、実際の機械構造物の一部(それが量産品にせよ試作品にせよ)として機能させることになる。既存の金属用 3 D プリンタ(以下、M 3 D P (M e t a l 3 D P r i n t e r) と略記する)として、P B F (P o w d e r B e d F u s i o n) と D E D (D i r e c t e d E n e r g y D e p o s i t i o n) の 2 種類がよく知られている。

【0 0 0 3】

P B F は、被加工物を搭載するベッドの上に焼結金属の粉末を薄く積層させ、そこに高エネルギーのレーザービームをガルバノミラーなどで走査し、ビームが当たった部分を溶融し凝固させる。1 層分の描画が完了すると、ベッドが 1 層分の厚さだけ下降し、そこに再び

10

20

30

40

50

焼結金属の粉末を塗り広げ、同じことを繰り返す。このようにして1層ずつ造形を繰り返して、所望の3次元形状を得るものである。

【0004】

PBFは、その造形原理により、本質的に、(1)部品の製作精度が不十分である、(2)仕上がりの表面粗さが悪い、(3)処理速度が遅い、及び(4)焼結金属粉末の扱いが面倒で手間が掛かるなど、いくつかの問題点が存在する。

【0005】

DEDでは、溶解させた金属材料を、加工対象に付着させる方法をとっている。例えば、集光レンズで絞ったレーザービームの焦点付近に、粉末金属を噴射する。するとその粉末金属がレーザーの照射によって溶解して液体状になる。その焦点付近に加工対象があったなら、その液体化した金属は加工対象に付着し、冷却され再び凝固する。この焦点の部分がいわばペン先となり、加工対象の表面に次々と「厚みを有する線」を描いていくことができる。加工対象及び加工ヘッド(レーザー及び粉末噴射ノズル他)の一方が他方に対してCADデータに基づき適切に相対運動することで、所望の形状が形作られる(例えば、特許文献1参照)。

10

【0006】

このことからわかるように、DEDでは、粉末材料は加工ヘッドから必要に応じて必要な量だけ噴射されるため、無駄が無く、大量の余剰粉末の中で加工を行う必要もない。

【0007】

上述したように、DEDは、PBFに比べて、原材料となる粉末金属の扱いなどにおいて、改善が図られているが、改善すべき点は多い。

20

【0008】

このような背景により、三次元造形物を形成する造形装置の工作機械としての利便性の向上、つまるところはものづくりの経済合理性の向上が強く望まれている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【文献】米国特許出願公開第2003/0206820号明細書

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

30

【0010】

本発明の第1の態様によれば、対象面上に三次元造形物を形成する造形装置であって、前記対象面を動かす移動システムと、前記移動システムにより移動可能な状態で前記対象面の位置情報を取得するための計測システムと、ビームを射出するビーム照射部と、前記ビーム照射部からのビームで照射される造形材料を供給する材料処理部と、を有するビーム造形システムと、前記対象面と前記ビーム照射部からのビームとを相対的に移動させつつ前記造形材料を前記材料処理部から供給することにより前記対象面上の目標部位に造形が施されるように、前記対象面上に形成すべき三次元造形物の3Dデータと、前記計測システムを使って取得された前記対象面の位置情報とに基づいて、前記移動システムと前記ビーム造形システムとを制御する制御装置と、を備える造形装置が、提供される。

40

【0011】

ここで、対象面は、造形の目標部位が設定される面である。

【0012】

これによれば、加工精度の良好な三次元造形物を対象面上に形成することが可能になる。

【0013】

本発明の第2の態様によれば、対象面上に三次元造形物を形成する造形方法であって、前記対象面の位置情報を計測することと、前記対象面上に形成すべき三次元造形物の3Dデータと、前記計測された前記対象面の位置情報とに基づいて、前記対象面とビームとを相対的に移動させつつ前記ビームで照射される造形材料を供給して前記対象面上の目標部位に造形を施すことと、を含む造形方法が、提供される。

50

【 0 0 1 4 】

これによれば、加工精度の良好な三次元造形物を対象面上に形成することが可能になる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 5 】

【 図 1 】 一実施形態に係る造形装置の全体構成を示すブロック図である。

【 図 2 】 移動システムの構成を、計測システムとともに概略的に示す図である。

【 図 3 】 ワークが搭載された移動システムを示す斜視図である。

【 図 4 】 ビーム造形システムをワークが搭載されたテーブルとともに示す図である。

【 図 5 】 ビーム造形システムが備えるビーム照射部の一部を構成する光源系の構成の一例を示す図である。

10

【 図 6 】 光源系からの平行ビームがミラーアレイに照射され、複数のミラー素子それぞれからの反射ビームの集光光学系に対する入射角度が個別に制御される状態を示す図である。

【 図 7 】 ビーム造形システムが備える材料処理部を集光光学系とともに示す図である。

【 図 8 】 材料処理部のノズルに形成された複数の供給口と該複数の供給口のそれぞれを開閉する開閉部材とを示す図である。

【 図 9 】 図 9 (A) は、図 4 の円 A 内を拡大して示す図、図 9 (B) は、図 9 (A) に示される一文字領域とスキャン方向との関係を示す図である。

【 図 1 0 】 造形面上に形成されるビームの照射領域の一例を示す図である。

【 図 1 1 】 造形装置の制御系を中心的に構成する制御装置の入出力関係を示すブロック図である。

20

【 図 1 2 】 テーブル上の計測装置の配置を示す図である。

【 図 1 3 】 計測装置を構成する、テーブル内部に配置された構成部分を、計測部材とともに示す図である。

【 図 1 4 】 図 1 4 (A) は、集光光学系の後側焦点面におけるビームの強度分布を計測する際の光学配置を示す図、図 1 4 (B) は、瞳面におけるビームの強度分布を計測する際の光学配置を示す図である。

【 図 1 5 】 制御装置の一連の処理アルゴリズムに対応するフローチャートである。

【 図 1 6 】 図 1 6 (A) 及び図 1 6 (B) は、一実施形態に係る造形装置の 1 つの効果従来技術と比較して説明するための図である。

【 図 1 7 】 造形面におけるビームの強度分布を計測するための計測装置の一例を示す図である。

30

【 図 1 8 】 図 1 8 (A) 及び図 1 8 (B) は、一文字領域の幅を少し太くすることで塗布層の厚さを厚くする例を説明するための図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 6 】

以下、一実施形態について、図 1 ~ 図 1 8 (B) に基づいて説明する。図 1 には、一実施形態に係る造形装置 1 0 0 の全体構成が、ブロック図にて示されている。

【 0 0 1 7 】

造形装置 1 0 0 は、DED方式のM3DPである。造形装置 1 0 0 は、ラピッドプロトタイピングにより、後述するテーブル 1 2 上で三次元造形物を形成するのにも用いることができるが、ワーク（例えば既存の部品）に対して三次元造形による付加加工を行うのにも用いることもできる。本実施形態では、後者のワークに対する付加加工を行う場合を中心として説明を行う。実際のモノづくりの現場では、別の製法、別の材料あるいは別の工作機械で生成された部品に対し、更に加工を繰り返し所望の部品に仕立てていくことが普通であり、三次元造形による付加加工に対してもその要求は潜在的には同じである。

40

【 0 0 1 8 】

造形装置 1 0 0 は、移動システム 2 0 0、搬送システム 3 0 0、計測システム 4 0 0 及びビーム造形システム 5 0 0 の 4 つのシステムと、これらのシステムを含み、造形装置 1 0 0 の全体を制御する制御装置 6 0 0 とを備えている。このうち、搬送システム 3 0 0 と、計測システム 4 0 0 と、ビーム造形システム 5 0 0 とは、所定方向に関して互いに離れ

50

て配置されている。以下の説明では、便宜上、搬送システム 300 と、計測システム 400 と、ビーム造形システム 500 とは、後述する X 軸方向（図 2 参照）に関して互いに離れて配置されているものとする。

【0019】

図 2 には、移動システム 200 の構成が、計測システム 400 とともに概略的に示されている。また、図 3 には、ワーク W が搭載された移動システム 200 が、斜視図にて示されている。以下では、図 2 における紙面内の左右方向を Y 軸方向、紙面に直交する方向を X 軸方向、X 軸及び Y 軸に直交する方向を Z 軸方向とし、X 軸、Y 軸及び Z 軸回りの回転（傾斜）方向を、それぞれ x、y 及び z 方向として説明を行う。

【0020】

移動システム 200 は、造形の対象面（ここではワーク W 上の目標部位 T A が設定される面）T A S（例えば図 4 及び図 9（A）参照）の位置及び姿勢を変更する。具体的には、対象面を有するワーク及び該ワークが搭載される後述するテーブルを 6 自由度方向（X 軸、Y 軸、Z 軸、x、y 及び z の各方向）に駆動することで、対象面の 6 自由度方向の位置の変更を行う。本明細書においては、テーブル、ワーク又は対象面などについて、x、y 及び z 方向の 3 自由度方向の位置を適宜「姿勢」と総称し、これに対応して残りの 3 自由度方向（X 軸、Y 軸及び Z 軸方向）の位置を適宜「位置」と総称する。

【0021】

移動システム 200 は、テーブルの位置及び姿勢を変更する駆動機構の一例としてスチュワートプラットホーム型の 6 自由度パラレルリンク機構を備えている。なお、移動システム 200 は、テーブルを 6 自由度方向に駆動できるものに限定されない。

【0022】

移動システム 200（但し、後述する平面モータの固定子を除く）は、図 2 に示されるように、床 F 上にその上面が X Y 平面にほぼ平行になるように設置されたベース B S 上に配置されている。移動システム 200 は、図 3 に示されるように、ベースプラットホームを構成する平面視正六角状のスライダ 10 と、エンドエフェクタを構成するテーブル 12 と、スライダ 10 とテーブル 12 とを連結する 6 本の伸縮可能なロッド（リンク）14₁～14₆ と、ロッド 14₁～14₆ にそれぞれ設けられ当該各ロッドを伸縮させる伸縮機構 16₁～16₆（図 3 では図示せず、図 11 参照）とを有している。移動システム 200 は、ロッド 14₁～14₆ の長さを伸縮機構 16₁～16₆ でそれぞれ独立に調整することにより、テーブル 12 の動きを三次元空間内で 6 自由度で制御できる構造となっている。移動システム 200 は、テーブル 12 の駆動機構として、スチュワートプラットホーム型の 6 自由度パラレルリンク機構を備えているので、高精度、高剛性、支持力が大きい、逆運動学計算が容易などの特徴がある。

【0023】

本実施形態に係る造形装置 100 では、ワークに対する付加加工時等において、ワークに対して所望の形状の造形物を形成する等のため、ビーム造形システム 500 に対し、より具体的には後述するビーム照射部からのビームに対しワーク（テーブル 12）の位置及び姿勢が制御される。原理的には、この逆にビーム照射部からのビームの方が可動であっても良いし、ビームとワーク（テーブル）の両方が可動であっても良い。後述するようにビーム造形システム 500 は複雑な構成であるため、ワークの方を動かす方が簡便である。

【0024】

テーブル 12 は、ここでは、正三角形の各頂点の部分を切り落としたような形状の板部材から成る。テーブル 12 の上面に付加加工対象のワーク W が搭載される。テーブル 12 には、ワーク W を固定するためのチャック機構 13（図 3 では不図示、図 11 参照）が設けられている。チャック機構 13 としては、例えばメカニカルチャックあるいは真空チャックなどが用いられる。また、テーブル 12 には、図 3 に示される平面視円形の計測部材 92 を含む、計測装置 110（図 12、図 13 参照）が設けられている。計測装置 110 については、後に詳述する。なお、テーブル 12 は、図 3 に示される形状に限らず、矩形板状、円盤状など如何なる形状でも良い。

10

20

30

40

50

【0025】

この場合、図3から明らかなように、ロッド14₁~14₆のそれぞれは、両端がユニバーサルジョイント18を介して、スライダ10とテーブル12とにそれぞれ接続されている。また、ロッド14₁、14₂は、テーブル12の三角形の1つの頂点位置の近傍に接続され、スライダ10とこれらのロッド14₁、14₂とによって概略三角形が構成されるような配置となっている。同様に、ロッド14₃、14₄、及びロッド14₅、14₆は、テーブル12の三角形の残りの各頂点位置の近傍にそれぞれ接続され、スライダ10と、ロッド14₃、14₄、及びロッド14₅、14₆とによって、それぞれ概略三角形が構成されるような配置となっている。

【0026】

これらのロッド14₁~14₆のそれぞれは、図3にロッド14₁について代表的に示されるように、それぞれの軸方向に相対移動可能な第1軸部材20と、第2軸部材22とを有しており、第1軸部材20の一端(下端)は、スライダ10にユニバーサルジョイント18を介して取り付けられており、第2軸部材22の他端(上端)は、テーブル12にユニバーサルジョイントを介して取り付けられている。

【0027】

第1軸部材20の内部には、段付き円柱状の中空部が形成されており、この中空部の下端側には、例えばベローズ型のアシリンダが収納されている。このアシリンダには、空圧回路及び空気圧源(いずれも不図示)が接続されている。そして、その空気圧源から供給される圧縮空気の空気圧を空圧回路を介して制御することにより、アシリンダの内圧を制御し、これによってアシリンダが有するピストンが軸方向に往復動されるようになっている。アシリンダでは、戻り工程は、平行リンク機構に組み込まれた際にピストンに作用する重力を利用するようになっている。

【0028】

また、第1軸部材20の中空部内の上端側には、軸方向に並べて配置された複数の電機子コイルから成る電機子ユニット(不図示)が配置されている。

【0029】

一方、第2軸部材22は、その一端部(下端部)が第1軸部材20の中空部に挿入されている。この第2軸部材22の一端部には、他の部分に比べて直径が小さい小径部が形成されており、この小径部の周囲には、磁性体部材から成る円筒状の可動子ヨークが設けられている。可動子ヨークの外周部には、同一寸法の複数の永久磁石から成る中空円柱状、すなわち円筒状の磁石体が設けられている。この場合、可動子ヨークと磁石体とによって、中空円柱状の磁石ユニットが構成されている。本実施形態では、電機子ユニットと磁石ユニットとによって、電磁力リアモータの一種であるシャフトモータが構成されている。このようにして構成されたシャフトモータでは、固定子である電機子ユニットの各コイルに対し、所定周期及び所定振幅の正弦波状の駆動電流を供給することにより、磁極ユニットと電機子ユニットとの間の電磁氣的相互作用の一種である電磁相互作用によって発生するローレンツ力(駆動力)により第1軸部材20に対し第2軸部材22が軸方向に相対駆動される。

【0030】

すなわち、本実施形態では、上述したアシリンダと、シャフトモータとによって、第1軸部材20と第2軸部材22とを軸方向に相対駆動して、ロッド14₁~14₆のそれぞれを伸縮させる前述の伸縮機構16₁~16₆(図11参照)が、それぞれ構成されている。

【0031】

また、シャフトモータの可動子である磁石ユニットは、第1軸部材20の内周面に設けられたエアパッドを介して固定子である電機子ユニットに対して非接触で支持されている。

【0032】

また、図3では図示が省略されているが、ロッド14₁~14₆のそれぞれには、第1軸部材20を基準とする第2軸部材22の軸方向の位置を検出するアブソリュート型のリ

10

20

30

40

50

ニアエンコーダ 2 4₁ ~ 2 4₆ が設けられており、これらのリニアエンコーダ 2 4₁ ~ 2 4₆ の出力は、制御装置 6 0 0 に供給されるようになっている（図 1 1 参照）。リニアエンコーダ 2 4₁ ~ 2 4₆ で検出される第 2 軸部材 2 2 の軸方向の位置は、ロッド 1 4₁ ~ 1 4₆ それぞれの長さに対応する。

【 0 0 3 3 】

リニアエンコーダ 2 4₁ ~ 2 4₆ の出力に基づいて、伸縮機構 1 6₁ ~ 1 6₆ が、制御装置 6 0 0 により制御されるようになっている（図 1 1 参照）。本実施形態の移動システム 2 0 0 と同様の平行リンク機構の構成の詳細は、例えば米国特許第 6 , 9 4 0 , 5 8 2 号明細書に開示されており、制御装置 6 0 0 は上記米国特許明細書に開示されていると同様の方法により、逆運動学計算を用いて伸縮機構 1 6₁ ~ 1 6₆ を介してテーブル 1 2 の位置及び姿勢を制御する。

10

【 0 0 3 4 】

移動システム 2 0 0 では、ロッド 1 4₁ ~ 1 4₆ にそれぞれ設けられる伸縮機構 1 6₁ ~ 1 6₆ が、相互に直列（又は並列）に配置されたエアシリンダと電磁力リニアモータの一種であるシャフトモータとを有していることから、制御装置 6 0 0 ではエアシリンダの空圧制御により、テーブル 1 2 を、粗く大きく駆動するとともに、シャフトモータにより細かく微動させることができる。この結果、テーブル 1 2 の 6 自由度方向の位置（すなわち位置及び姿勢）の制御を短時間で正確に行うことが可能になる。

【 0 0 3 5 】

また、ロッド 1 4₁ ~ 1 4₆ のそれぞれは、シャフトモータの可動子である磁石ユニットを固定子である電機子ユニットに対して非接触で支持するエアパッドを有しているため、伸縮機構によるロッドの伸縮を制御する際の実線成分となる摩擦を回避することができ、これにより、テーブル 1 2 の位置及び姿勢の制御を一層高精度に行うことができる。

20

【 0 0 3 6 】

また、本実施形態では、伸縮機構 1 6₁ ~ 1 6₆ を構成する電磁力リニアモータとしてシャフトモータが用いられ、該シャフトモータでは可動子側に円筒状の磁石が用いられた磁石ユニットが用いられているため、その磁石の放射方向の全方向に磁束（磁界）が発生し、その全方向の磁束を、電磁相互作用によるローレンツ力（駆動力）の発生に寄与させることができ、例えば通常のリニアモータ等に比較して明らかに大きな推力を発生させることができ、油圧シリンダ等に比べて小型化が容易である。

30

【 0 0 3 7 】

したがって、各ロッドがシャフトモータをそれぞれ含む移動システム 2 0 0 によれば、小型・軽量化と出力の向上とを同時に実現でき、造形装置 1 0 0 に好適に適用できる。

【 0 0 3 8 】

また、制御装置 6 0 0 では、伸縮機構をそれぞれ構成するエアシリンダの空圧を制御することにより低周波振動を制振するとともにシャフトモータに対する電流制御により高周波振動を絶縁するように行うことができる。

【 0 0 3 9 】

移動システム 2 0 0 は、さらに平面モータ 2 6（図 1 1 参照）を備えている。スライダ 1 0 の底面には、磁石ユニット（又はコイルユニット）から成る、平面モータ 2 6 の可動子が設けられ、これに対応してベース B S の内部には、コイルユニット（又は磁石ユニット）から成る、平面モータ 2 6 の固定子が収容されている。スライダ 1 0 の底面には、可動子を取り囲んで複数のエアベアリング（空気静圧軸受）が設けられ、複数のエアベアリングによってスライダ 1 0 は、平坦度が高く仕上げられたベース B S の上面（ガイド面）上に所定のクリアランス（ギャップ又は隙間）を介して浮上支持されている。平面モータ 2 6 の固定子と可動子との間の電磁相互作用によって生じる電磁力（ローレンツ力）により、スライダ 1 0 は、ベース B S の上面に対して非接触で X Y 平面内で駆動される。本実施形態では、移動システム 2 0 0 は、図 1 に示されるように、計測システム 4 0 0 及びビーム造形システム 5 0 0、並びに搬送システム 3 0 0 の配置位置相互間で、テーブル 1 2 を自在に移動可能である。なお、移動システム 2 0 0 が、それぞれにワーク W を搭載する

40

50

複数のテーブル12を備えていても良い。例えば複数のテーブルの一つに保持されたワークに対してビーム造形システム500を用いた加工を行っている間に、別の一つのテーブルに保持されたワークに対して計測システム400を用いた計測を行っても良い。かかる場合においても、計測システム400及びビーム造形システム500、並びに搬送システム300の配置位置相互間で、それぞれのテーブルが自在に移動可能である。あるいは、もっぱら計測システム400を用いた計測のときにワークを保持するテーブルと、もっぱらビーム造形システム500を用いた加工のときにワークを保持するテーブルを設けるとともに、その2つのテーブルに対するワークの搬入及び搬出がワーク搬送系等によって可能となる構成を採用した場合には、それぞれのスライダ10は、ベースBS上に固定されていても良い。複数のテーブル12を設ける場合であっても、それぞれのテーブル12は、6自由度方向に可動であり、その6自由度方向の位置の制御が可能である。

10

【0040】

なお、平面モータ26としては、エア浮上方式に限らず、磁気浮上方式の平面モータを用いても良い。後者の場合、スライダ10には、エアベアリングを設ける必要はない。また、平面モータ26としては、ムービング・マグネット型、ムービング・コイル型のいずれをも用いることができる。

【0041】

制御装置600では、平面モータ26を構成するコイルユニットの各コイルに供給する電流の大きさ及び方向の少なくとも一方を制御することで、スライダ10を、ベースBS上でX、Y2次元方向に自在に駆動することができる。

20

【0042】

本実施形態では、移動システム200は、スライダ10のX軸方向及びY軸方向に関する位置情報を計測する位置計測系28(図11参照)を備えている。位置計測系28としては、2次元アブソリュートエンコーダを用いることができる。具体的には、ベースBSの上面に、X軸方向の全長に渡る所定幅の帯状のアブソリュートコードを有する2次元スケールを設け、これに対応してスライダ10の底面に、発光素子などの光源と、該光源から射出された光束により照明された2次元スケールからの反射光をそれぞれ受光するX軸方向に配列された一次元受光素子アレイ及びY軸方向に配列された一次元受光素子アレイとによって構成されるXヘッド及びYヘッドを設ける。2次元スケールとしては、例えば非反射性の基材(反射率0%)上において、互いに直交する2方向(X軸方向及びY軸方向)に沿って一定の周期で複数の正方形の反射部(マーク)が2次元配列され、反射部の反射特性(反射率)が、所定の規則に従う階調を有するものが使用される。2次元アブソリュートエンコーダとしては、例えば米国特許出願公開第2014/0070073号公報に開示されている2次元アブソリュートエンコーダと同様の構成を採用しても良い。米国特許出願公開第2014/0070073号公報と同様の構成のアブソリュート型2次元エンコーダによると、従来のインクリメンタルエンコーダと同等の高精度な2次元位置情報の計測が可能になる。アブソリュートエンコーダであるから、インクリメンタルエンコーダと異なり原点検出が不要である。位置計測系28の計測情報は、制御装置600に送られる。

30

【0043】

本実施形態では、後述するように、計測システム400により、テーブル12上に搭載されたワークW上の対象面(例えば上面)の少なくとも一部の三次元空間内の位置情報(本実施形態では形状情報)が計測され、その計測後にワークWに対する付加加工(造形)が行われる。したがって、制御装置600は、ワークW上の対象面の少なくとも一部の形状情報を計測したときに、その計測結果と、その計測時におけるロッド14₁~14₆に設けられたリニアエンコーダ24₁~24₆の計測結果及び位置計測系28の計測結果と、を対応づけることで、テーブル12に搭載されたワークW上の対象面の位置及び姿勢を、造形装置100の基準座標系(以下、テーブル座標系と呼ぶ)と関連付けることができる。これにより、それ以後は、リニアエンコーダ24₁~24₆及び位置計測系28の計測結果に基づくテーブル12の6自由度方向の位置のオープンループの制御により、ワー

40

50

ワーク上の対象面 T A S の目標値に対する 6 自由度方向に関する位置制御が可能になっている。本実施形態では、リニアエンコーダ 2 4 1 ~ 2 4 6 及び位置計測系 2 8 として、アブソリュート型のエンコーダが用いられているので原点出しが不要なためリセットが容易である。なお、テーブル 1 2 の 6 自由度方向の位置のオープンループの制御によるワーク上の対象面の目標値に対する 6 自由度方向に関する位置制御を可能にするために用いられる、計測システム 4 0 0 で計測すべき前述の三次元空間内の位置情報は、形状に限らず、対象面の形状に応じた少なくとも 3 点の三次元位置情報であれば足りる。

【 0 0 4 4 】

なお、本実施形態では、スライダ 1 0 を X Y 平面内で駆動する駆動装置として、平面モータ 2 6 を用いる場合について説明したが、平面モータ 2 6 に代えてリニアモータを用いても良い。この場合、前述した 2 次元アブソリュートエンコーダに代えて、アブソリュート型のリニアエンコーダによりスライダ 1 0 の位置情報を計測する位置計測系を構成しても良い。また、スライダ 1 0 の位置情報を計測する位置計測系を、エンコーダに限らず、干渉計システムを用いて構成しても良い。

10

【 0 0 4 5 】

また、本実施形態では、テーブルを駆動する機構を、スライダを X Y 平面内で駆動する平面モータと、スライダによってベースプラットフォームが構成されるスチュワートプラットフォーム型の 6 自由度パラレルリンク機構とを用いて構成する場合について例示したが、これに限らず、その他のタイプのパラレルリンク機構、あるいはパラレルリンク機構以外の機構を用いてテーブルを駆動する機構を構成しても良い。例えば、X Y 平面内で移動するスライダと、スライダ上でテーブル 1 2 を Z 軸方向及び X Y 平面に対する傾斜方向に駆動する Z チルト駆動機構を採用しても良い。かかる Z チルト駆動機構の一例としては、テーブル 1 2 を三角形の各頂点位置で例えばユニバーサルジョイントその他のジョイントを介して下方から支持するとともに、各支持点を互いに独立して Z 軸方向に駆動可能な 3 つのアクチュエータ（ボイスコイルモータなど）を有する機構が挙げられる。ただし、移動システム 2 0 0 のテーブルを駆動する機構の構成は、これらに限定されるものではなく、ワークが載置されるテーブル（可動部材）を X Y 平面内の 3 自由度方向、及び Z 軸方向、並びに X Y 平面に対する傾斜方向の少なくとも 5 自由度方向に駆動できる構成であれば良く、X Y 平面内で移動するスライダを備えていなくても良い。例えばテーブルとこのテーブルを駆動するロボットによって移動システムを構成しても良い。いずれの構成であっても、テーブルの位置を計測する計測系を、アブソリュート型のリニアエンコーダの組み合わせ、又は該リニアエンコーダとアブソリュート型のロータリエンコーダとの組み合わせを用いて構成すると、リセットを容易にすることができる。

20

30

【 0 0 4 6 】

この他、移動システム 2 0 0 に代えて、テーブル 1 2 を X Y 平面内の 3 自由度方向、及び Z 軸方向、並びに X Y 平面に対する傾斜方向（ x 又は y ）の少なくとも 5 自由度方向に駆動可能なシステムを採用しても良い。この場合において、テーブル 1 2 そのものを、エア浮上又は磁気浮上によって、ベース B S などの支持部材の表面上に所定のクリアランス（ギャップ又は隙間）を介して浮上支持（非接触支持）しても良い。このような構成を採用すると、テーブルは、これを支持する部材に対して非接触で移動するので、位置決め精度上極めて有利であり、造形精度向上に大きく寄与する。

40

【 0 0 4 7 】

計測システム 4 0 0 は、テーブル 1 2 に搭載されたワークの位置及び姿勢をテーブル座標系と関連付けるためのワークの三次元位置情報、一例として形状の計測を行う。計測システム 4 0 0 は、図 2 に示されるように、レーザ非接触式の三次元計測機 4 0 1 を備えている。三次元計測機 4 0 1 は、ベース B S 上に設置されたフレーム 3 0 と、フレーム 3 0 に取付けられたヘッド部 3 2 と、ヘッド部 3 2 に装着された Z 軸ガイド 3 4 と、Z 軸ガイド 3 4 の下端に設けられた回転機構 3 6 と、回転機構 3 6 の下端に接続されたセンサ部 3 8 と、を備えている。

【 0 0 4 8 】

50

フレーム 30 は、Y 軸方向に延びる水平部材 40 と、水平部材 40 を Y 軸方向の両端部で下方から支持する一対の柱部材 42 とから成る。

【0049】

ヘッド部 32 は、フレーム 30 の水平部材 40 に取付けられている。

【0050】

Z 軸ガイド 34 は、ヘッド部 32 に Z 軸方向に移動可能に装着され、Z 駆動機構 44 (図 2 では図示せず、図 1 1 参照) によって Z 軸方向に駆動される。Z 軸ガイド 34 の Z 軸方向の位置 (又は基準位置からの変位) は、Z エンコーダ 46 (図 2 では図示せず、図 1 1 参照) によって計測される。

【0051】

回転機構 36 は、センサ部 38 をヘッド部 32 (Z 軸ガイド 34) に対して所定角度範囲 (例えば 90 度 (/ 2) 又は 180 度 () の範囲) 内で Z 軸と平行な回転中心軸回りに連続的に (又は所定角度ステップで) 回転駆動する。本実施形態では、回転機構 36 によるセンサ部 38 の回転中心軸は、センサ部 38 を構成する後述する照射部から照射されるライン光の中心軸と一致している。回転機構 36 によるセンサ部 38 の基準位置からの回転角度 (又はセンサ部の z 方向の位置) は、例えばロータリエンコーダなどの回転角度センサ 48 (図 2 では図示せず、図 1 1 参照) によって計測される。

【0052】

センサ部 38 は、テーブル 12 上に載置される被検物 (図 2 ではワーク W) に光切断を行うためのライン光を照射する照射部 50 と、ライン光が照射されることで光切断面 (線) が現れた被検物の表面を検出する検出部 52 と、を主体に構成される。また、センサ部 38 には、検出部 52 により検出された画像データに基づいて被検物の形状を求める演算処理部 54 が接続されている。演算処理部 54 は、本実施形態では造形装置 100 の構成各部を統括的に制御するための制御装置 600 に含まれる (図 1 1 参照) 。

【0053】

照射部 50 は、図示しないシリンドリカルレンズ及び細い帯状の切り欠きを有したスリット板等から構成され、光源からの照明光を受けて扇状のライン光 50 a を生じさせるものである。光源としては、LED、レーザ光源あるいは SLD (super luminescent diode) 等を用いることができる。LED を用いた場合は安価に光源を形成することができる。また、レーザ光源を用いた場合、点光源であるため収差の少ないライン光を作ることができ、波長安定性に優れ半値幅が小さく、迷光カットに半値幅の小さいフィルタが使えるため、外乱の影響を少なくすることができる。また、SLD を用いた場合は、レーザ光源の特性に加え可干渉性がレーザ光よりも低いため被検物面でのスペックルの発生を抑えることができる。検出部 52 は、被検物 (ワーク W) の表面に投影されるライン光 50 a を照射部 50 の光照射方向とは異なる方向から撮像するためのものである。また、検出部 52 は、図示しない結像レンズや CCD 等から構成され、後述するようにテーブル 12 を移動させてライン光 50 a が所定間隔走査される毎に被検物 (ワーク W) を撮像するようになっている。なお、照射部 50 及び検出部 52 の位置は、被検物 (ワーク W) の表面上のライン光 50 a の検出部 52 に対する入射方向と、照射部 50 の光照射方向とが、所定角度 を成すように定められている。本実施形態では、上記所定角度 が例えば 45 度に設定されている。

【0054】

検出部 52 で撮像された被検物 (ワーク W) の画像データは、演算処理部 54 に送られ、ここで所定の画像演算処理がなされて被検物 (ワーク W) の表面の高さが算出され、被検物 (ワーク W) の三次元形状 (表面形状) が求められるようになっている。演算処理部 54 は、被検物 (ワーク W) の画像において、被検物 (ワーク W) の凹凸に応じて変形したライン光 50 a による光切断面 (線) の位置情報に基づき、光切断面 (線) (ライン光 50 a) が延びる長手方向の画素毎に三角測量の原理を用いて被検物 (ワーク W) 表面の基準平面からの高さを算出し、被検物 (ワーク W) の三次元形状を求める演算処理を行う。

【0055】

10

20

30

40

50

本実施形態では、制御装置 600 が、被検物（ワーク W）に投影されたライン光 50a の長手方向と略直角な方向にテーブル 12 を移動させることで、ライン光 50a を被検物（ワーク W）の表面を走査させる。制御装置 600 は、センサ部 38 の回転角度を回転角度センサ 48 で検出し、該検出結果に基づいてテーブル 12 をライン光 50a の長手方向と略直角な方向に移動させる。このように、本実施形態では、被検物（ワーク W）の形状等の計測に際し、テーブル 12 を移動させるので、その前提として、ワーク W を保持して計測システム 400 のセンサ部 38 の下方に移動してきた時点では、テーブル 12 の位置及び姿勢（6 自由度方向の位置）は、常に所定の基準状態に設定されている。基準状態は、例えばロッド 14₁ ~ 14₆ がいずれも伸縮ストローク範囲の中立点に相当する長さ（あるいは最小の長さ）となる状態であり、このとき、テーブル 12 の Z 軸、 x 、 y 及び z の各方向の位置（ Z 、 x 、 y 、 z ）=（ Z_0 、0、0、0）となる。また、この基準状態では、テーブル 12 の XY 平面内の位置（ X 、 Y ）は、位置計測系 28 によって計測されるスライダ 10 の X 、 Y 位置と一致する。

【0056】

その後、被検物（ワーク W）に対する上述した計測が開始されるが、この計測中を含み、テーブル 12 の 6 自由度方向の位置は、制御装置 600 によってテーブル座標系上で管理される。すなわち、制御装置 600 は、位置計測系 28 の計測情報に基づいて平面モータ 26 を制御するとともに、リニアエンコーダ 24₁ ~ 24₆ の計測値に基づいて、伸縮機構 16₁ ~ 16₆ を制御することで、テーブル 12 の 6 自由度方向の位置を制御する。

【0057】

ところで、本実施形態に係る三次元計測機 401 のように光切断法を用いる場合、センサ部 38 の照射部 50 から被検物（ワーク W）に照射されるライン光 50a を、センサ部 38 とテーブル 12（被検物（ワーク W））との相対移動方向と直交する方向に配置させるのが望ましい。例えば、図 2 において、センサ部 38 と被検物（ワーク W）との相対移動方向を Y 軸方向に設定した場合、ライン光 50a を X 軸方向に沿って配置するのが望ましい。このようにすると、計測時にライン光 50a の全域を有効に利用した被検物（ワーク W）に対する相対移動を行うことができ、被検物（ワーク W）の形状を最適に計測できるためである。ライン光 50a の向きと上述の相対移動方向とを常に直交させることができるように、回転機構 36 が設けられている。

【0058】

上述した三次元計測機 401 は、例えば米国特許出願公開第 2012/0105867 号公報に開示されている形状測定装置と同様に構成されている。ただし、ライン光の被検物に対する X 、 Y 平面に平行な方向の走査は、米国特許出願公開第 2012/0105867 号公報に記載されている装置では、センサ部の移動によって行われるのに対し、本実施形態では、テーブル 12 の移動によって行われる点が相違する。なお、本実施形態では、ライン光の被検物に対する Z 軸に平行な方向の走査に際しては、Z 軸ガイド 34 及びテーブル 12 のいずれを駆動しても良い。

【0059】

本実施形態に係る三次元計測機 401 を用いる計測方法では、光切断法を用いることで、被検物の表面に一本のライン光からなるライン状投影パターンを投影し、ライン状投影パターンを被検物表面の全域を走査させる毎に、被検物に投影されたライン状投影パターンを投影方向と異なる角度から撮像する。そして、撮像された被検物表面の撮像画像よりライン状投影パターンの長手方向の画素毎に三角測量の原理等を用いて被検物表面の基準平面からの高さを算出し、被検物表面の三次元形状を求める。

【0060】

この他、計測システム 400 を構成する三次元計測機としては、例えば米国特許第 7,009,717 号明細書に開示されている光プローブと同様の構成の装置を用いることもできる。この光プローブは、2 つ以上の光学グループで構成され、2 以上の視野方向と 2 以上の投影方向を含む。1 つの光学グループでは 1 つ以上の視野方向と 1 つ以上の投影方向を含み、少なくとも 1 つの視野方向と少なくとも 1 つの投影方向が光学グループ間で異なり

10

20

30

40

50

、視野方向により得られたデータは同じ光学グループの投影方向により投影されたパターンのみにより生成される。

【0061】

計測システム400は、上述の三次元計測機401の代わりに、あるいは上述の三次元計測機に加えて、アライメントマークを光学的に検出するマーク検出系56（図11参照）を備えていても良い。マーク検出系56は、例えばワークに形成されたアライメントマークを検出することができる。制御装置600は、マーク検出系56を用いて少なくとも3つのアライメントマークの中心位置（三次元座標）をそれぞれ正確に検出することで、ワーク（又はテーブル12）の位置及び姿勢を算出する。かかるマーク検出系56は、例えばステレオカメラを含んで構成することができる。マーク検出系56により、テーブル12上に予め形成された最低三か所のアライメントマークを光学的に検出することとしても良い。

10

【0062】

本実施形態では、制御装置600は、上述したようにして三次元計測機401を用いて、ワークWの表面（対象面）を走査し、その表面形状データを取得する。そして、制御装置600は、その表面形状データを用いて最小自乗の処理を行いワーク上の対象面の三次元的な位置及び姿勢をテーブル座標系に対して関連付けを行う。ここで、被検物（ワークW）に対する上述した計測中を含み、テーブル12の6自由度方向の位置は、制御装置600によってテーブル座標系上で管理されているので、ワークの三次元的な位置及び姿勢がテーブル座標系に対して関連付けられた後は、三次元造形による付加加工時を含み、ワークWの6自由度方向の位置（すなわち位置及び姿勢）の制御は全てテーブル座標系に従ったテーブル12のオープンループの制御により行うことができる。

20

【0063】

本実施形態の計測システム400は、付加加工開始前のワーク等の位置計測に加え、付加加工後の部品（ワーク）の形状検査にも用いられるが、これについては、後述する。

【0064】

図4には、ビーム造形システム500が、ワークWが搭載されたテーブル12とともに示されている。図4に示されるように、ビーム造形システム500は、光源系510を含み、ビームを射出するビーム照射部520と、粉状の造形材料を供給する材料処理部530と、ウォーターシャワーノズル540（図4では図示せず、図11参照）と、を備えている。なお、ビーム造形システム500が、ウォーターシャワーノズル540を備えていなくても良い。

30

【0065】

光源系510は、図5に示されるように、光源ユニット60と、光源ユニット60に接続されたライトガイドファイバ62と、ライトガイドファイバ62の射出側に配置されたダブルフライアイ光学系64と、コンデンサレンズ系66と、を備えている。

【0066】

光源ユニット60は、ハウジング68と、ハウジング68の内部に収納され、互いに平行にマトリクス状に並べられた複数のレーザユニット70と、を備えている。レーザユニット70としては、パルス発振又は連続波発振動作を行う各種レーザ、例えば炭酸ガスレーザ、Nd:YAGレーザ、ファイバレーザ、あるいはGaN系半導体レーザなどの光源のユニットを用いることができる。

40

【0067】

ライトガイドファイバ62は、多数の光ファイバ素線をランダムに束ねて構成されたファイババンドルであって、複数のレーザユニット70の射出端に個別に接続された複数の入射口62aと、入射口62aの数より多い数の射出口を有する射出部62bとを有している。ライトガイドファイバ62は、複数のレーザユニット70のそれぞれから射出される複数のレーザビーム（以下、適宜「ビーム」と略記する）を、各入射口62aを介して受光して多数の射出口に分配し、各レーザビームの少なくとも一部を共通の射出口から射出させる。このようにして、ライトガイドファイバ62は、複数のレーザユニット70の

50

それぞれから射出されるビームを混合して射出する。これにより、単一のレーザユニットを用いる場合に比べて、総出力をレーザユニット70の数に応じて増加させることができる。ただし、単一のレーザユニットで十分な出力が得られる場合には、複数のレーザユニットを使わなくても良い。

【0068】

ここで、射出部62bは、次に説明するダブルフライアイ光学系64の入射端を構成する第1フライアイレンズ系の入射端の全体形状と相似な断面形状を有し、その断面内に射出口がほぼ均等な配置で設けられている。このため、ライトガイドファイバ62は、上述のようにして混合したビームを、第1フライアイレンズ系の入射端の全体形状と相似になるように整形する整形光学系の役目も兼ねている。

10

【0069】

ダブルフライアイ光学系64は、ビーム（照明光）の断面強度分布を一様化するためのもので、ライトガイドファイバ62後方のレーザビームのビーム路（光路）上に順次配置された第1フライアイレンズ系72、レンズ系74、及び第2フライアイレンズ系76から構成される。なお、第2フライアイレンズ系76の周囲には、絞りが設けられている。

【0070】

この場合、第1フライアイレンズ系72の入射面と、第2フライアイレンズ系76の入射面とは、光学的に互いに共役に設定されている。また、第1フライアイレンズ系72の射出側焦点面（ここに後述する面光源が形成される）、第2フライアイレンズ系76の射出側焦点面（ここに後述する面光源が形成される）、及び後述する集光光学系の瞳面（入射瞳）PPは光学的に互いに共役に設定されている。なお、本実施形態において、集光光学系82の瞳面（入射瞳）PPは、前側焦点面と一致している（例えば図4、図6、図7等参照）。

20

【0071】

ライトガイドファイバ62によって混合されたビームは、ダブルフライアイ光学系64の第1フライアイレンズ系72に入射する。これにより、第1フライアイレンズ系72の射出側焦点面に面光源、すなわち多数の光源像（点光源）から成る2次光源が形成される。これらの多数の点光源の各々からのレーザ光は、レンズ系74を介して第2フライアイレンズ系76に入射する。これにより、第2フライアイレンズ系76の射出側焦点面に多数の微小な光源像を所定形状の領域内に一様分布させた面光源（3次光源）が形成される。

30

【0072】

コンデンサレンズ系66は、上記3次光源から射出されたレーザ光を、照度分布が均一なビームとして射出する。

【0073】

なお、第2フライアイレンズ系76の入射端の面積、コンデンサレンズ系66の焦点距離などの最適化により、コンデンサレンズ系66から射出されるビームは、平行ビームとみなすことができる。

【0074】

本実施形態の光源系510は、ライトガイドファイバ62とダブルフライアイ光学系64とコンデンサレンズ系66とを備えた照度均一化光学系を備え、この照度均一化光学系を用いて、複数のレーザユニット70からそれぞれ射出されるビームを混合し、断面照度分布が均一化された、平行ビームを生成する。

40

【0075】

なお、照度均一化光学系は、上述した構成に限られない。ロッドインテグレータ、コリメーターレンズ系などを用いて照度均一化光学系を構成しても良い。

【0076】

光源系510の光源ユニット60は、制御装置600に接続されており（図11参照）、制御装置600によって、光源ユニット60を構成する複数のレーザユニット70のオンオフが、個別に制御される。これにより、ビーム照射部520からワークW（上の対象面）に照射されるレーザビームの光量（レーザ出力）が調整される。

50

【 0 0 7 7 】

ビーム照射部 5 2 0 は、図 4 に示されるように、光源系 5 1 0 の他、光源系 5 1 0 (コンデンサレンズ系 6 6) からの平行ビームの光路上に順次配置されたビーム断面強度変換光学系 7 8 及び空間光変調器 (S L M : Spatial Light Modulator) の一種であるミラーアレイ 8 0 と、ミラーアレイ 8 0 からの光を集光する集光光学系 8 2 とを有する。ここで、空間光変調器とは、所定方向へ進行する光の振幅 (強度)、位相あるいは偏光の状態を空間的に変調する素子の総称である。

【 0 0 7 8 】

ビーム断面強度変換光学系 7 8 は、光源系 5 1 0 (コンデンサレンズ系 6 6) からの平行ビームの断面の強度分布を変換する。本実施形態では、ビーム断面強度変換光学系 7 8 は、光源系 5 1 0 からの平行ビームを、その断面の中心を含む領域の強度がほぼ零となるドーナツ状 (輪带状) の平行ビームに変換する。ビーム断面強度変換光学系 7 8 は、本実施形態では、例えば光源系 5 1 0 からの平行ビームの光路上に順次配置された凸型円錐反射鏡及び凹型円錐反射鏡によって構成されている。凸型円錐反射鏡は、その光源系 5 1 0 側に外周面が円錐状の反射面を有し、凹型円錐反射鏡は、その内径が凸型円錐反射鏡の外径より大きな環状部材から成り、その内周面に凸型円錐反射鏡の反射面に対向する反射面を有する。この場合、凹型円錐反射鏡の中心を通る任意の断面で見ると、凸型円錐反射鏡の反射面と凹型円錐反射鏡の反射面とは、平行である。したがって、光源系 5 1 0 からの平行ビームは、凸型円錐反射鏡の反射面により放射状に反射され、この反射ビームが凹型円錐反射鏡の反射面で反射されることで、輪带状の平行ビームに変換される。

【 0 0 7 9 】

本実施形態では、ビーム断面強度変換光学系 7 8 を経由した平行ビームは、後述するようにミラーアレイ 8 0 及び集光光学系 8 2 を介してワークに照射される。ビーム断面強度変換光学系 7 8 を用いて光源系 5 1 0 からの平行ビームの断面強度分布を変換することによって、ミラーアレイ 8 0 から集光光学系 8 2 の瞳面 (入射瞳) P P に入射するビームの強度分布を変更することが可能である。また、ビーム断面強度変換光学系 7 8 を用いて光源系 5 1 0 からの平行ビームの断面強度分布を変換することによって、実質的に集光光学系 8 2 から射出されるビームの集光光学系 8 2 の射出面における強度分布を変更することも可能である。

【 0 0 8 0 】

なお、ビーム断面強度変換光学系 7 8 は、凸型円錐反射鏡と凹型円錐反射鏡との組み合わせに限らず、例えば米国特許出願公開第 2 0 0 8 / 0 0 3 0 8 5 2 号公報に開示される、回折光学素子、アフォーカルレンズ、及び円錐アキシコン系の組み合わせを用いて構成しても良い。ビーム断面強度変換光学系 7 8 は、ビームの断面強度分布を変換するものであれば良く、種々の構成が考えられる。ビーム断面強度変換光学系 7 8 の構成によっては光源系 5 1 0 からの平行ビームを、その断面の中心を含む領域での強度をほぼ零でなく、その外側の領域での強度よりも小さくすることも可能である。

【 0 0 8 1 】

ミラーアレイ 8 0 は、本実施形態では、X Y 平面及び X Z 平面に対して 4 5 度 (/ 4) を成す面 (以下、便宜上基準面と呼ぶ) を一面に有するベース部材 8 0 A と、ベース部材 8 0 A の基準面上に例えば P 行 Q 列のマトリクス状に配置された例えば M (= P × Q) 個のミラー素子 8 1 _{p,q} (p = 1 ~ P、 q = 1 ~ Q) と、各ミラー素子 8 1 _{p,q} を個別に駆動する M 個のアクチュエータ (不図示) を含む駆動部 8 7 (図 4 では図示せず、図 1 1 参照) とを有している。ミラーアレイ 8 0 は、多数のミラー素子 8 1 _{p,q} の基準面に対する傾きを調整することにより、基準面と平行な大きな反射面を実質的に形成可能である。

【 0 0 8 2 】

ミラーアレイ 8 0 の各ミラー素子 8 1 _{p,q} は、例えば各ミラー素子 8 1 _{p,q} の一方の対角線に平行な回転軸回りに回動可能に構成され、その反射面の基準面に対する傾斜角度を所定角度範囲内の任意の角度に設定可能である。各ミラー素子の反射面の角度は、回転軸の回転角度を検出するセンサ、例えばロータリエンコーダ 8 3 _{p,q} (図 4 では不図示、図

11参照)によって計測される。

【0083】

駆動部87は、例えばアクチュエータとして電磁石あるいはボイスコイルモータを含み、個々のミラー素子81_{p,q}は、アクチュエータによって駆動されて非常に高応答で動作する。

【0084】

ミラーアレイ80を構成する複数のミラー素子のうち、光源系510からの輪帯状の平行ビームによって照明されたミラー素子81_{p,q}のそれぞれは、その反射面の傾斜角度に応じた方向に反射ビーム(平行ビーム)を射出し、集光光学系82に入射させる(図6参照)。なお、本実施形態において、ミラーアレイ80を用いている理由及び輪帯状の平行ビームをミラーアレイ80に入射させる理由については、後述するが、必ずしも輪帯状にする必要はなく、ミラーアレイ80に入射する平行ビームの断面形状(断面強度分布)を輪帯形状とは異ならせても良いし、ビーム断面強度変換光学系78を設けなくても良い。

【0085】

集光光学系82は、開口数 $N.A.$ が例えば0.5以上、好ましくは0.6以上の高 $N.A.$ で、低収差の光学系である。集光光学系82は、大口径、低収差かつ高 $N.A.$ であるため、ミラーアレイ80からの複数の平行ビームを後側焦点面上に集光することができる。詳細は後述するが、ビーム照射部520は、集光光学系82から射出されるビームを例えば、スポット状又はスリット状に集光することができる。また、集光光学系82は、1又は複数枚の大口径のレンズによって構成される(図4等では、1枚の大口径のレンズを代表的に図示)ので、入射光の面積を大きくすることができ、これにより、開口数 $N.A.$ が小さい集光光学系を用いる場合に比べてより多量の光エネルギーを取り込むことができる。したがって、本実施形態に係る集光光学系82によって集光されたビームは、極めてシャープで高エネルギー密度を有することとなり、このことは造形による付加加工の加工精度を高めることに直結する。

【0086】

本実施形態では、後述するように、テーブル12を XY 平面に平行な走査方向(図4では、一例として Y 軸方向)に移動することにより、ビームと造形の対象面 TAS を上端に有するワーク W とを走査方向(スキャン方向)に相対走査しながら造形(加工処理)を行う場合を説明する。なお、造形の際に、テーブル12の Y 軸方向への移動中に、 X 軸方向、 Z 軸方向、 x 方向、 y 方向、及び z 方向の少なくとも1つの方向にテーブル12を移動しても良いことは言うまでもない。また、後述するように、材料処理部530によって供給された粉状の造形材料(金属材料)をレーザービームのエネルギーにより溶融するようになっている。したがって、前述したように、集光光学系82が取り込むエネルギーの総量が大きくなれば、集光光学系82から射出されるビームのエネルギーが大きくなり、単位時間に溶解できる金属の量が増える。その分、造形材料の供給量とテーブル12の速度とを上げれば、ビーム造形システム500による造形加工のスループットが向上する。

【0087】

しかるに、レーザーの総出力を前述したような手法で大いに高められたとしても、現実的にはテーブル12のスキャン動作を無限に高速にすることはできないため、そのレーザーパワーを完全に生かすだけのスループットを実現することはできない。これを解決するため、本実施形態の造形装置100では、後述するように、スポット状のビームの照射領域ではなく、スリット状のビームの照射領域(以下、一文字領域と呼ぶ(図9(B)の符号 LS 参照))を、造形の対象面 TAS を位置合わせすべき面(以下、造形面と呼ぶ) MP (例えば図4及び図9(A)参照)上に形成し、その一文字領域 LS を形成するビーム(以下、一文字ビームと呼ぶ)に対してその長手方向に垂直な方向にワーク W を相対走査しながら造形(加工処理)を行うことができる。これにより、スポット状のビームでワークを走査(スキャン)する場合に比べて格段広い面積(例えば数倍から数十倍程度の面積)を一気に処理することができる。なお、後述するように、本実施形態において、上述の造形面 MP は、集光光学系82の後側焦点面である(例えば図4及び図9(A)参照)が、造

10

20

30

40

50

形面は、後側焦点面の近傍の面でも良い。また、本実施形態において、造形面 M P は、集光光学系 8 2 の射出側の光軸 A X に垂直であるが、垂直でなくても良い。

【 0 0 8 8 】

造形面 M P 上におけるビームの強度分布を設定する、あるいは変更する方法（例えば、上述したような一文字領域を形成する方法）としては、例えば集光光学系 8 2 に入射する複数の平行ビームの入射角度分布を制御する手法を採用することができる。本実施形態の集光光学系 8 2 のように平行光を一点に集光するレンズ系は、瞳面（入射瞳） P P における平行ビーム L B（例えば図 4、図 6 等参照）の入射角度で後側焦点面（集光面）での集光位置が決まる。ここで入射角度は、a. 集光光学系 8 2 の瞳面 P P に入射する平行ビームが集光光学系 8 2 の光軸 A X と平行な軸に対して成す角度（ $0 < 90 \text{度} (/ 2)$ ）と、b. 瞳面上に光軸（A X）上の点を原点とし、光軸（A X）に直交する二次元直交座標系（X, Y）を設定した場合に瞳面 P P に入射する平行ビームの瞳面 P P（X Y 座標平面）への正射影の、二次元直交座標系（X, Y）上における基準軸（例えば X 軸（X = 0））に対する角度（ $0 < 360 \text{度} (2)$ ）とから決まる。例えば、集光光学系 8 2 の瞳面 P P に対して垂直に（光軸に平行に）入射したビームは光軸 A X 上に、集光光学系 8 2 に対して（光軸 A X に対して）少し傾斜したビームは、その光軸 A X 上から少しずれた位置に集光する。この関係を利用し、光源系 5 1 0 からの平行ビームを反射して集光光学系 8 2 に入射させる際に、集光光学系 8 2 の瞳面 P P に入射する複数の平行ビーム L B の入射角（入射方向）に、適切な角度分布をつけることで、造形面 M P 内におけるビームの強度分布、例えば造形面における照射領域の位置、数、大きさ、及び形状の少なくとも一つを任意に変更することができる。したがって、例えば一文字領域、三列領域、欠損一文字領域など（図 1 0 参照）も当然容易に形成できるし、スポット状の照射領域を形成することも容易である。

【 0 0 8 9 】

なお、本実施形態の集光光学系 8 2 は、その瞳面（入射瞳） P P と前側焦点面とが一致する構成となっているため、ミラーアレイ 8 0 を用いた複数の平行ビーム L B の入射角度の変更により、その複数の平行ビーム L B の集光位置を正確に、簡便に制御することができるが、集光光学系 8 2 の瞳面（入射瞳）と前側焦点面とが一致する構成でなくても良い。

【 0 0 9 0 】

また、造形面に形成される照射領域の形状及び大きさを可変にしないのであれば、所望の形状のソリッドなミラーを用いて、集光光学系 8 2 の瞳面に入射する 1 つの平行ビームの入射角度を制御して、照射領域の位置を変更することもできる。

【 0 0 9 1 】

しかるに、ワークに対する付加加工（造形）を行う場合、その造形の目標部位が設定される対象面の領域が常に平坦な面であるとは限らない。すなわち一文字ビームの相対走査が可能であるとは限らない。ワークの輪郭エッジ近傍、あるいは中実領域と中空領域との境界付近の場所では、境界は斜めになっていたり、狭くなっていたり、R がついていたいたりして、一文字ビームの相対走査の適用は困難である。例えて言えば、幅の広い刷毛では、このような場所を塗りつぶすのは困難であるため、それに応じた幅の狭い刷毛や、細い鉛筆が必要となるので、いわば、リアルタイムかつ連続的に、自在に刷毛と細い鉛筆を使い分けられるようにしたい。これと同様、ワークの輪郭エッジ近傍、あるいは中実領域と中空領域との境界付近の場所では、ビームの照射領域のスキャン方向（相対移動方向）の幅を変更したり、照射領域の大きさ（例えば一文字ビームの長さ）、個数又は位置（ビームの照射点の位置）を変化させたりしたいという要求が発生する。

【 0 0 9 2 】

そこで、本実施形態では、ミラーアレイ 8 0 を採用し、制御装置 6 0 0 が、各ミラー素子 8 1 p, q を非常に高応答で動作させることで、集光光学系 8 2 の瞳面 P P に入射する複数の平行ビーム L B の入射角度をそれぞれ制御する。これにより、造形面 M P 上におけるビームの強度分布を設定又は変更する。この場合、制御装置 6 0 0 は、ビームと対象面 T A S（造形の目標部位 T A が設定される面であり、本実施形態ではワーク W 上の面である

)との相対移動中に造形面MP上におけるビームの強度分布、例えばビームの照射領域の形状、大きさ、個数の少なくとも1つを変化させることが可能になる。この場合において、制御装置600は、造形面MP上におけるビームの強度分布を連続的、あるいは断続的に変更することができる。例えば、ビームと対象面TASの相対移動中に一文字領域の相対移動方向の幅を連続的、あるいは断続的に変化させることも可能である。制御装置600は、ビームと対象面TASとの相対位置に応じて造形面MP上におけるビームの強度分布を変化させることもできる。制御装置600は、要求される造形精度とスループットとに応じて、造形面MPにおけるビームの強度分布を変化させることもできる。

【0093】

また、本実施形態では、制御装置600が、前述したロータリエンコーダ83_{p,q}を用いて、各ミラー素子の状態（ここでは反射面の傾斜角度）を検出し、これにより各ミラー素子の状態を、リアルタイムでモニタしているため、ミラーアレイ80の各ミラー素子の反射面の傾斜角度を正確に制御できる。

10

【0094】

材料処理部530は、図7に示されるように、集光光学系82の射出面の下方に設けられたノズル部材（以下、ノズルと略記する）84aを有するノズルユニット84と、ノズルユニット84に配管90aを介して接続された材料供給装置86と、材料供給装置86に配管を介してそれぞれ接続された複数、例えば2つの粉末カートリッジ88A、88Bとを有している。図7には、図4の集光光学系82より下方の部分が-Y方向から見て示されている。

20

【0095】

ノズルユニット84は、集光光学系82の下方でX軸方向に延び、造形材料の粉末を供給する少なくとも1つの供給口を有するノズル84aと、ノズル84aの長手方向の両端部を支持するとともに、それぞれの上端部が集光光学系82の筐体に接続された一対の支持部材84b、84cとを備えている。一方の支持部材84bには、配管90aを介して材料供給装置86の一端（下端）が接続されており、内部に配管90aとノズル84aとを連通する供給路が形成されている。本実施形態において、ノズル84aは、集光光学系82の光軸の直下に配置されており、下面（底面）には、後述する複数の供給口が設けられている。なお、ノズル84aは、必ずしも集光光学系82の光軸上に配置する必要はなく、光軸からY軸方向の一側に幾分ずれた位置に配置されても良い。

30

【0096】

材料供給装置86の他端（上端）には、材料供給装置86への供給路としての配管90b、90cが接続され、配管90b、90cをそれぞれ介して材料供給装置86に粉末カートリッジ88A、88Bが接続されている。一方の粉末カートリッジ88Aには、第1の造形材料（例えばチタン）の粉末が収容されている。また、他方の粉末カートリッジ88Bには、第2の造形材料（例えばステンレス）の粉末が収容されている。

【0097】

なお、本実施形態では、造形装置100は、2種類の造形材料を材料供給装置86に供給するために2つの粉末カートリッジを備えているが、造形装置100が備える粉末カートリッジは1つでも良い。

40

【0098】

粉末カートリッジ88A、88Bから材料供給装置86への粉末の供給は、粉末カートリッジ88A、88Bのそれぞれに材料供給装置86に粉末を強制的に供給させる機能を持たせても良いが、本実施形態では、材料供給装置86に、配管90b、90cの切り換えの機能とともに、粉末カートリッジ88A、88Bのいずれか一方から真空を利用して粉末を吸引する機能をも持たせている。材料供給装置86は、制御装置600に接続されている（図11参照）。造形時に、制御装置600により、材料供給装置86を用いて配管90b、90cの切り換えが行われ、粉末カートリッジ88Aからの第1の造形材料（例えばチタン）の粉末と粉末カートリッジ88Bからの第2の造形材料（例えばステンレス）の粉末とが択一的に材料供給装置86に供給され、材料供給装置86から配管90a

50

を介して、いずれか一方の造形材料の粉末がノズル 8 4 a に供給される。なお、材料供給装置 8 6 の構成を変更することで、必要な場合に粉末カートリッジ 8 8 A からの第 1 の造形材料と粉末カートリッジ 8 8 B からの第 2 の造形材料とを同時に材料供給装置 8 6 に供給して、2 つの造形材料の混合物を、配管 9 0 a を介してノズル 8 4 a に供給できる構成としても良い。なお、粉末カートリッジ 8 8 A に接続可能なノズルと粉末カートリッジ 8 8 B に接続可能な別のノズルを、集光光学系 8 2 の下方に設け、造形時に、いずれか一方のノズルから粉末を供給、又は両方のノズルから粉末を供給しても良い。

【 0 0 9 9 】

また、制御装置 6 0 0 は、粉末カートリッジ 8 8 A、8 8 B から材料供給装置 8 6 を介してノズル 8 4 a に供給される造形材料の単位時間あたりの供給量を調整可能である。例えば、粉末カートリッジ 8 8 A、8 8 B の少なくとも一方から材料供給装置 8 6 へ供給される粉末の量を調整することにより、材料供給装置 8 6 を介してノズル 8 4 a に供給される造形材料の単位時間あたりの供給量を調整可能である。例えば、粉末カートリッジ 8 8 A、8 8 B からの材料供給装置 8 6 への粉末の供給に利用されている真空のレベルを調整することで、ノズル 8 4 a に供給される造形材料の単位時間あたりの供給量を調整可能である。あるいは、材料供給装置 8 6 から配管 9 0 a に供給される粉末の量を調整するバルブを設けて、ノズル 8 4 a に供給される造形材料の単位時間あたりの供給量を調整することも可能である。

【 0 1 0 0 】

ここで、図 7 では不図示ではあるが、実際には、ノズル 8 4 a の下面（底面）には、図 8 に示されるように、複数、例えば N 個の供給口 9 1 _i (i = 1 ~ N) が、X 軸方向に等間隔で形成され、各供給口 9 1 _i が開閉部材 9 3 _i によって個別に開閉できるようになっている。なお、図 8 では、図示の便宜上から、供給口 9 1 _i は、一例として 1 2 個図示され、かつ供給口と開閉部材との関係がわかるように両者が図示されている。しかし、実際には、1 2 個より多くの数の供給口が形成されており、かつ隣接する供給口間の仕切りの部分は、より狭くなっている。ただし、供給口がノズル 8 4 a の長手方向のほぼ全長に渡って配置されているのであれば、供給口の数はいくつでも良い。例えば、供給口は、ノズル 8 4 a の長手方向のほぼ全長に渡る 1 つのスリット状の開口であっても良い。

【 0 1 0 1 】

開閉部材 9 3 _i は、図 8 中に k 番目の開閉部材 9 3 _k について矢印を付して代表的に示されるように、+ Y 方向及び - Y 方向にスライド駆動可能であり、供給口 9 1 _i を、開閉する。開閉部材 9 3 _i は、スライド駆動に限らず、一端部を中心としてチルト方向に回転可能に構成されていても良い。

【 0 1 0 2 】

各開閉部材 9 3 _i は、制御装置 6 0 0 によって不図示のアクチュエータを介して駆動制御される。制御装置 6 0 0 は、造形面上におけるビームの強度分布、例えば造形面上に形成されるビームの照射領域の形状、大きさ、配置等の設定（又は変更）に応じて複数、例えば N 個の供給口 9 1 _i のそれぞれを、各開閉部材 9 3 _i を用いて開閉制御する。これにより、材料処理部 5 3 0 による造形材料の供給動作が制御される。この場合、制御装置 6 0 0 により、複数の供給口 9 1 _i のうちの少なくとも 1 つの供給口が選択され、その選択された少なくとも 1 つの供給口を閉鎖している開閉部材 9 3 _i のみが開放制御、例えば - Y 方向に駆動される。したがって、本実施形態では、複数、例えば N 個の供給口 9 1 _i のうちの一部のみから造形材料を供給可能である。

【 0 1 0 3 】

また、制御装置 6 0 0 は、前述した材料供給装置 8 6 を介してノズル 8 4 a に供給される造形材料の単位時間あたりの供給量制御と、任意の開閉部材 9 3 _i を用いた開閉制御との少なくとも一方により、その開閉部材 9 3 _i で開閉される供給口 9 1 _i からの造形材料の単位時間あたりの供給量を調整することも可能である。制御装置 6 0 0 は、造形面上におけるビームの強度分布、例えば造形面上に形成されるビームの照射領域の形状、大きさ、配置等の設定（又は変更）に応じて任意の供給口 9 1 _i からの造形材料の単位時間あた

10

20

30

40

50

りの供給量を決定する。制御装置 600 は、例えば前述の一文字領域のスキャン方向の幅に基づいて、それぞれの供給口 91_i からの単位時間あたりの供給量を決定する。

【0104】

なお、各開閉部材 93_i により、各供給口 91_i の開度を調整可能に構成しても良い。この場合には、制御装置 600 は、例えば前述の一文字領域のスキャン方向の幅に応じて各開閉部材 93_i による各供給口の開度を調整することとしても良い。

【0105】

この他、造形材料の粉末を供給する少なくとも 1 つの供給口が可動であっても良い。例えばノズル 84 a の下面に X 軸方向に延びるスリット状の供給口を 1 つ形成し、ノズル 84 a を、一对の支持部材 84 b、84 c に対して、例えば、X 軸方向と Y 軸方向の少なくとも一方に移動可能な構成とし、制御装置 600 が、造形面上におけるビームの強度分布の変更、すなわちビームの照射領域の形状、大きさ、位置の変更に応じて、下面に供給口が形成されたノズル 84 a を移動しても良い。なお、ノズル 84 a を Z 軸方向に可動にしても良い。

10

【0106】

あるいは、ノズル 84 a を、本体部と、該本体部に対して例えば X Y 平面内で X 軸方向と Y 軸方向の少なくとも一方に移動可能でその底面に供給口が形成された少なくとも 2 つの可動部材とで構成し、可動部材の少なくとも一部を、制御装置 600 が、造形面上におけるビームの強度分布の変更に応じて、移動しても良い。この場合も、可動部材の少なくとも一部が Z 軸方向に可動であっても良い。

20

【0107】

また、複数の供給口のうちの 1 つ供給口と別の供給口とが相対的に移動可能な構成にしても良い。あるいは、例えば、上記 1 つの供給口の Y 軸方向の位置と上記別の 1 つの供給口の Y 軸方向の位置とが異なっても良い。あるいは、上記 1 つの供給口の Z 軸方向の位置と上記別の 1 つの供給口の Z 軸方向の位置とが異なっても良い。

【0108】

なお、少なくとも 1 つの供給口の移動は、ビームの強度分布の設定又は変更に合わせて行うだけでなく、別の目的で動かしても良い。

【0109】

前述したように、ノズル 84 a に設けられた複数の供給口 91_i は、集光光学系 82 の光軸に直交して X 軸方向にノズル 84 a の全長に渡って等間隔で配置されかつ隣接する供給口 91_i 同士の間には僅かの隙間しかない。このため、図 9 (A) 中の黒矢印で示されるように、ノズル 84 a の複数の供給口 91_i のそれぞれから粉末状の造形材料 P D を集光光学系 82 の光軸 A X に平行な Z 軸方向に沿って真下に供給すれば、集光光学系 82 の光軸 A X の直下の前述の一文字領域 L S (一文字ビームの照射領域) にその造形材料 P D が供給されることになる。この場合、ノズル 84 a からの造形材料 P D の供給は、造形材料 P D の自重を利用して、あるいは僅かな噴き出し圧力を加えた噴き出しによって行うことができる。したがって、造形の対象面に対して斜めの方向から造形材料を供給する場合のような造形材料の供給をガイドするガス流の発生機構等の複雑な機構が不要である。また、本実施形態のようにワークに対して至近距離で垂直に造形材料を供給できることは、造形における加工精度を確保する上で極めて有利である。

30

40

【0110】

なお、ノズル 84 a にガス供給口を設けても良い。ガス供給口から供給されるガスは、造形材料の供給をガイドするために流しても良いし、別の目的、例えば造形に寄与するガスを流しても良い。

【0111】

本実施形態では、輪帯状の平行ビームがミラーアレイ 80 に照射されるので、ミラーアレイ 80 からの反射ビームは、集光光学系 82 の周縁近傍の部分領域 (N . A . が大きな部分領域) に入射し、集光光学系 82 の射出端、すなわちビーム照射部 520 の射出端に位置する終端レンズの光軸から離れた周縁部の領域を介して集光光学系 82 の造形面 M P

50

(本実施形態では集光光学系 8 2 の後側焦点面に一致)に集光される(図 4 参照)。すなわち、同一の集光光学系 8 2 の周縁近傍の部分を通る光のみによって、例えば一文字ビームが形成される。このため、別々の光学系を介した光を同一領域に集光してビームスポット(レーザスポット)を形成する場合に比べて、高品質なビームスポットの形成が可能である。また、本実施形態では、集光光学系 8 2 の射出面(下端面)の中央下方に設けたノズル 8 4 a へのビームの照射を制限することができる。このため、本実施形態では、ミラーアレイ 8 0 からの反射ビームを全てスポットの形成に利用することが可能になるとともに、集光光学系 8 2 の入射面側のノズル 8 4 a に対応する部分にビームがノズル 8 4 a に照射されるのを制限するための遮光部材等を設ける必要がなくなる。かかる理由により、輪帯状の平行ビームによりミラーアレイ 8 0 を照明することとしているのである。

10

【0112】

なお、集光光学系 8 2 の射出端に位置する光学部材は、少なくともその射出側の面の光軸から離れた領域に光学面が形成され、該光学面を介して造形面(後側焦点面)にビームを集光することができれば良い。したがって、この光学部材は、光軸を含む領域では射出面と入射面との少なくとも一方が、集光光学系 8 2 の光軸に垂直な平面であっても良いし、あるいは、光軸を含む領域に穴が形成されていても良い。光軸を含む中央部の領域に穴の空いたドーナツ状の集光レンズによって集光光学系 8 2 の射出端に位置する光学部材を構成しても良い。

【0113】

なお、集光光学系 8 2 からノズル 8 4 a に入射するビームを制限するために、例えば図 7 に二点鎖線で示される制限部材 8 5 を集光光学系 8 2 の入射面側(例えば瞳面 P P)に設けても良い。制限部材 8 5 によって、集光光学系 8 2 からのビームのノズル 8 4 a への入射を制限する。制限部材 8 5 としては、遮光部材を用いても良いが、減光フィルタ等を用いても良い。かかる場合において、集光光学系 8 2 に入射する平行ビームは、断面円形の平行ビームであっても良いし、輪帯状の平行ビームであっても良い。後者では、ビームが制限部材 8 5 に照射されることがないので、ミラーアレイ 8 0 からの反射ビームを全てスポットの形成に利用することが可能になる。

20

【0114】

なお、集光光学系 8 2 からノズル 8 4 a に入射するビームを必ずしも完全に遮光する必要はないが、集光光学系 8 2 からのビームがノズル 8 4 a に入射するのを防止するために、集光光学系 8 2 の終端レンズの射出面の、Y 軸方向に関して光軸の両側の分離した周縁部領域(例えば 2 つの円弧領域)のみからビームを射出するようにしても良い。

30

【0115】

ウォーターシャワーノズル 5 4 0 (図 1 1 参照)は、いわゆる焼入れの際に用いられる。ウォーターシャワーノズル 5 4 0 は、冷却液(冷却水)を供給する供給口を有し、冷却液を冷却対象物に噴射するものである。ウォーターシャワーノズル 5 4 0 は、制御装置 6 0 0 に接続されている(図 1 1 参照)。制御装置 6 0 0 は、焼入れに際し、光源ユニット 6 0 を制御してビーム照射部 5 2 0 からのビームの熱エネルギーを焼入れに適切な値に調節する。そして、制御装置 6 0 0 は、ワークの表面にビームを照射して高温にした後、ウォーターシャワーノズル 5 4 0 を介して冷却液をその高温部に噴射して急冷することにより、焼入れを行うことができる。この場合、三次元造形によるワークに対する付加加工と同時に焼入れ工程を行うことも可能である。なお、付加加工と同時に焼き入れ工程を行う場合、造形材料として、焼入れ性の良好な金属を用いることが望ましい。

40

【0116】

本実施形態では、ワークに対する付加加工時等には、図 4 及び図 4 の円 A 内を拡大して示す図 9 (A) に示されるように、集光光学系 8 2 の周縁部近傍を通過しノズル 8 4 a の + Y 側及び - Y 側(ワーク W (テーブル 1 2) のスキャン方向の前方及び後方)の光路を通るビーム(図 9 (A) に便宜上ビーム L B 1 1、L B 1 2 として示されている)がノズル 8 4 a の真下に集光されて、X 軸方向(図 9 (A) における紙面直交方向)を長手方向とする一文字領域 L S が造形面上に形成され(図 9 (B) 参照)、その一文字領域 L S を

50

形成する一文字ビームに対してノズル 8 4 a の複数の供給口 9 1_i を介して粉末状の造形材料 P D が集光光学系 8 2 の光軸 A X と平行な Z 軸に沿って（光軸 A X を含む X Z 面に沿って）供給される。これにより、ノズル 8 4 a の真下に X 軸方向に延びる線状の熔融池 W P が形成される。そして、かかる熔融池 W P の形成がテーブル 1 2 をスキャン方向（図 9（A）では + Y 方向）に走査しながら行われる。これにより、一文字ビーム（熔融池 W P）の長手方向（X 軸方向）の長さに渡る所定幅のビード（熔融凝固した金属）B E を形成することが可能である。

【0117】

この場合において、例えば集光光学系 8 2 に入射する平行ビーム L B の数を減らさずに、一文字ビームの X 軸方向の幅、又は Y 軸方向の幅、又は両方が徐々に狭まるように、集光光学系 8 2 に入射する複数の平行ビーム L B の入射角度の調整を行った場合、ビームの集光密度（エネルギー密度）が高くなる。したがって、それに応じて、単位時間当たりの粉末（造形材料）の供給量を増やし、かつ対象面 T A S の相対移動速度を上げることで、形成されるビード B E の層の厚さを一定に保つとともに、スループットを高いレベルで保つことが可能になる。ただし、かかる調整方法に限らず、他の調整方法を用いて、形成されるビード B E の層の厚さを一定に保つこともできる。例えば、一文字ビームの X 軸方向の幅、又は Y 軸方向の幅、又は両方の幅に応じて複数のレーザユニット 7 0 のうちの少なくとも 1 つのレーザ出力（レーザビームのエネルギー量）を調節しても良いし、ミラーアレイ 8 0 から集光光学系 8 2 に入射する平行ビーム L B の数を変更しても良い。この場合、上述した調整方法に比べて、スループットは幾分低下するが、調整が簡便である。

【0118】

本実施形態に係る造形装置 1 0 0 には、集光光学系 8 2 からのビームを受けて計測処理を行う計測装置 1 1 0 が設けられている。例えば、計測装置 1 1 0 は、集光光学系 8 2 からのビームを受光して、ビームの光学特性などを計測可能である。本実施形態では、計測装置 1 1 0 は、ビームの強度分布を管理するために、用いられる。本実施形態では、計測装置 1 1 0 は、集光光学系 8 2 の後側焦点面（本実施形態では、造形面 M P と一致）におけるビームの強度分布と、集光光学系 8 2 の瞳面 P P（本実施形態は前側焦点面と一致）におけるビームの強度分布を計測する。

【0119】

計測装置 1 1 0 は、図 1 2 に示されるように、テーブル 1 2 の上面の一部を構成する計測部材 9 2 と、テーブル 1 2 の内部に収容された残りの構成部分とを有している。

【0120】

図 1 3 には、計測装置 1 1 0 の一部であり、テーブル 1 2 内部に配置された構成部分が、計測部材 9 2 とともに斜視図にて示されている。図 1 3 に示されるように、計測装置 1 1 0 は、計測部材 9 2 と、第 1 光学系 9 4 と、光学系ユニット 9 5 と、受光器 9 6 とを備えている。

【0121】

計測部材 9 2 は、上面がテーブル 1 2 の残りの部分と面一（同一面）となる状態で、テーブル 1 2 の上面に形成された円形開口内に配置されている。計測部材 9 2 は、集光光学系 8 2 からのビームを透過可能な、例えば石英などで形成された基材を有し、その基材の表面には、クロム等の金属の蒸着により反射膜を兼ねる遮光膜が形成されており、その遮光膜の中央部に、円形の開口 9 2 a が形成されている。したがって、計測部材 9 2 の上面は、遮光膜の表面と開口 9 2 a 内の基材表面とを含む。なお、遮光膜は、非常に薄く形成されており、以下の説明では、遮光膜の表面と開口 9 2 a 内の基材表面とは同一面内に位置するとみなして説明する。また、遮光膜を形成しなくても良いが、遮光膜を形成することによって、計測の際に、フレアなどの影響を抑制する効果を期待できる。

【0122】

第 1 光学系 9 4 は、計測部材 9 2 の下方に配置されている。計測部材 9 2 の開口 9 2 a を介したビームは、第 1 光学系 9 4 に入射する。なお、本実施形態において、第 1 光学系 9 4 は、コリメータ光学系であるが、コリメータ光学系でなくても良い。

【 0 1 2 3 】

光学系ユニット 9 5 は、中心に回転軸 1 0 1 a が設けられた円形の回転板 1 0 1 を有している。回転板 1 0 1 には、回転軸 1 0 1 a を中心として所定角度間隔で開口部 9 7 とレンズ（第 2 光学系）9 8 とが配置されている。回転軸 1 0 1 a の回転、すなわち回転板 1 0 1 の回転により、開口部 9 7 とレンズ 9 8 とのいずれかを、第 1 光学系 9 4 を介した光の光路上（光軸 A X 1 に対応する位置）に、選択的に配置可能となっている。回転軸 1 0 1 a の回転は、制御装置 6 0 0 の指示の下、駆動装置 1 0 2（図 1 3 では不図示、図 1 1 参照）によって行われる。

【 0 1 2 4 】

開口部 9 7 は、第 1 光学系 9 4 から射出された平行光をそのまま通過させる。この開口部 9 7 を、集光光学系 8 2 を介したビームの光路上に配置するとともに、第 1 光学系 9 4、又は第 1 光学系 9 4 を構成する少なくとも 1 つの光学素子を動かすことにより、受光器 9 6 では、集光光学系 8 2 の瞳面（入射瞳）P P（本実施形態では前側焦点面に一致）におけるビームの強度分布を計測することが可能となる。なお、計測装置 1 1 0 は、集光光学系 8 2 の瞳面（入射瞳）P P の強度分布を計測できなくても良い。この場合、レンズ 9 8 は固定であっても良い。

10

【 0 1 2 5 】

レンズ 9 8 は、第 1 光学系 9 4 とともにリレー光学系を構成し、開口 9 2 a が形成された計測部材 9 2 の上面と受光器 9 6 の受光素子（後述）の受光面とを光学的に共役にする。

【 0 1 2 6 】

受光器 9 6 は、2 次元 C C D 等から成る受光素子（以下、「C C D」と呼ぶ）9 6 a と、例えば電荷転送制御回路等の電気回路 9 6 b と、を有している。なお、受光素子 9 6 a として C M O S イメージセンサを用いても良いことは言うまでもない。受光器 9 6 の受光結果（受光データ）は制御装置 6 0 0 に出力される（図 1 1 参照）。C C D 9 6 a は、開口 9 2 a を介して第 1 光学系 9 4 に入射し、第 1 光学系 9 4 から射出され開口部 9 7 を通過する平行光のすべてを受光するのに十分な面積を有している。また、C C D 9 6 a の受光面は、第 1 光学系 9 4 とレンズ 9 8 とによって構成されるリレー光学系によって計測部材 9 2 の上面（開口 9 2 a の形成面）と光学的に共役である。また、C C D 9 6 a の各画素は、上述のリレー光学系を介して収束されるビームの照射領域内に複数の画素が含まれるサイズを有している。C C D 9 6 a には、1 つ又は複数の基準画素が定められており、その基準画素とテーブル 1 2 の基準点、例えば中心点との位置関係は既知である。したがって、制御装置 6 0 0 は、受光器 9 6 の出力から、C C D 9 6 a に入射するビームと基準画素との位置関係を知ることができ、テーブル座標系内におけるビームの位置情報（例えば、ビームの集光位置情報）を取得することができる。

20

30

【 0 1 2 7 】

なお、C C D 9 6 a の受光面は、計測部材 9 2 の上面（基材表面）が集光光学系 8 2 の後側焦点面（造形面 M P）に一致し、かつ開口部 9 7 が、開口 9 2 a 及び第 1 光学系 9 4 を介したビームの光路上に配置されている状態では、集光光学系 8 2 の瞳面と共役である。

【 0 1 2 8 】

また、開口部 9 7 の代わりに、光学系（光学部材）を回転板 1 0 1 に配置して、C C D 9 6 a の受光面と集光光学系 8 2 の瞳面とを共役にしても良い。また、計測の際に、計測部材 9 2 の上面を集光光学系 8 2 の後側焦点面から光軸 A X 方向にずらした位置に配置しても良い。

40

【 0 1 2 9 】

また、光学系ユニット 9 5 は、上述のものに限られない。例えば、回転板 1 0 1 を使わずに、例えば可動部材でレンズ 9 8 を保持して、その可動部材を光軸に垂直方向に（例えば X 軸方向に沿って）移動することによってレンズ 9 8 を挿脱しても良い。

【 0 1 3 0 】

上述の説明から明らかなように、本実施形態では、計測部材 9 2 を含む計測装置 1 1 0 が 6 自由度方向に自在に移動可能なテーブル 1 2 に設けられているので、計測装置 1 1 0

50

の受光部として機能する計測部材 9 2 は、集光光学系 8 2 の射出面側の光軸 A X に平行な Z 軸方向、光軸 A X に垂直な X 軸、Y 軸方向の少なくとも一方向に移動しながら、集光光学系 8 2 からのビームを受光可能である。

【 0 1 3 1 】

集光光学系 8 2 の後側焦点面におけるビームの強度分布の計測は、例えば次のようにして行われる。

【 0 1 3 2 】

制御装置 6 0 0 は、まず、位置計測系 2 8 及びリニアエンコーダ 2 4 ₁ ~ 2 4 ₆ の計測値に基づいて、平面モータ 2 6 及び伸縮機構 1 6 ₁ ~ 1 6 ₆ を、既知の目標値（設計情報など）に基づいて制御してテーブル 1 2 を移動し、計測部材 9 2 の開口 9 2 a を、集光光学系 8 2 の光軸 A X 上の位置に位置決めする。

10

【 0 1 3 3 】

また、制御装置 6 0 0 は、駆動装置 1 0 2 を介して回転板 1 0 1 を回転し、レンズ 9 8 を、開口 9 2 a 及び第 1 光学系 9 4 を介したビームの光路上に配置する。そして、この状態で、レンズ 9 8 によって C C D 9 6 a の受光面上に収束されるビームの受光結果である受光データ（L R D 1 とする、図 1 1 参照）に基づいて、集光光学系 8 2 の後側焦点面におけるビームの強度分布を計測する。

【 0 1 3 4 】

図 1 4 (A) には、集光光学系 8 2 の後側焦点面におけるビームの強度分布を計測する際の光学配置が、計測装置 1 1 0 の光軸 A X 1 及び集光光学系 8 2 の光軸 A X に沿って展開して示されている（但し、集光光学系 8 2 より上流側の部分は図示を省略）。このとき、ミラーアレイ 8 0 の各ミラー素子 8 1 _p , q の反射面は、後側焦点面において所望のビームの強度分布（ビームの照射領域の形状、大きさ、配置等）が得られるような設計上の角度に設定されているものとする。

20

【 0 1 3 5 】

図 1 4 (A) に示される光学配置において、制御装置 6 0 0 が光源ユニット 6 0 の少なくとも 1 つのレーザユニット 7 0 からレーザビームを発振させ、光源系 5 1 0 から平行ビームが射出されると、その平行ビームは、ミラーアレイ 8 0 の複数のミラー素子 8 1 _p , q によってそれぞれ反射され、複数の平行ビームとなって集光光学系 8 2 に入射する。集光光学系 8 2 に入射した複数の平行ビームは、集光光学系 8 2 により後側焦点面に集光され、該後側焦点面又はその近傍に位置する開口 9 2 a に入射する。

30

【 0 1 3 6 】

開口 9 2 a を通過した光は、第 1 光学系 9 4 及びレンズ 9 8 から成るリレー光学系によって、計測部材 9 2 の光学的な共役面すなわち C C D 9 6 a の受光面上で集光される。したがって、C C D 9 6 a の受光面の強度分布は、計測部材 9 2 の上面内におけるビームの強度分布となる。C C D 9 6 a により、その強度分布を有するビームが受光され、光電変換されて得られる受光データ L R D 1 が受光器 9 6 （電気回路 9 6 b ）から制御装置 6 0 0 に送信される（図 1 1 参照）。

【 0 1 3 7 】

そこで、制御装置 6 0 0 は、リニアエンコーダ 2 4 ₁ ~ 2 4 ₆ の計測値に基づいて伸縮機構 1 6 ₁ ~ 1 6 ₆ を介してテーブル 1 2 を Z 軸方向にステップ移動しつつ、上記受光データ L R D 1 の取り込みを行い、その取り込んだ受光データ L R D 1 に基づいて、例えば C C D 9 6 a の受光面に形成されるビームの照射領域の面積が最小となる Z 軸方向の位置を見つける。C C D 9 6 a の受光面に形成されるビームの照射領域の面積が最小となるのは、計測部材 9 2 の上面が、集光光学系 8 2 の後側焦点面に一致して、開口 9 2 a 内に最もシャープなビームの照射領域が形成されるときである。したがって、制御装置 6 0 0 は、受光器 9 6 からの受光データ L R D 1 に基づき、ビームを受光した画素の数が最も少なくなるテーブル 1 2 の Z 位置を、計測部材 9 2 の上面と後側焦点面とが一致している Z 位置と判断することができる。本実施形態では、後側焦点面を造形面 M P としているので、制御装置 6 0 0 は、その Z 位置における受光データ L R D 1 に基づいて、造形面 M P にお

40

50

けるビームの強度分布（ビームの照射領域の形状、大きさ、配置等）を求めることができる。造形面MPにおけるビームの強度分布（ビームの照射領域の形状、大きさ、配置等）が所望状態と異なる場合、制御装置600は、例えばミラーアレイ80の複数のミラー素子 $81_p, q$ の少なくとも一部の角度を調整し、造形面MPにおけるビームの強度分布を所望状態に調整する。

【0138】

また、計測部材92の上面と後側焦点面とが一致している状態での、CCD96aの受光面におけるビームの強度分布と1つ、又は複数の基準画素との位置関係から、造形面MP（集光光学系82の後側焦点面）におけるビームの照射領域の、テーブル座標系上の位置などを求めることができる。

10

【0139】

なお、集光光学系82の後側焦点面のZ位置が既知であり、そのZ位置が変化していないと判断できる場合には、Z軸方向のステップ移動をしなくても良い。

【0140】

本実施形態では、制御装置600は、上述の造形面MPにおけるビームの強度分布（ビームの照射領域の形状、大きさ、配置等）の計測を行った後に、次に説明する集光光学系82の瞳面（入射瞳）PPにおけるビームの強度分布の計測を行う。

【0141】

集光光学系82の瞳面（入射瞳）PP（本実施形態では前側焦点面に一致）におけるビームの強度分布の計測は、例えば次のようにして行われる。

20

【0142】

上述した造形面MPにおけるビームの強度分布（ビームの照射領域の形状、大きさ、配置等）の計測の終了後、制御装置600は、計測部材92の上面（開口92aの形成面）が集光光学系82の光軸AX上の位置であって造形面MPと同一高さとなる位置に、テーブル12の位置を、維持したまま、駆動装置102を介して回転板101を回転し、開口部97を、開口92a及び第1光学系94を介したビームの光路上に配置する。そして、この状態で、瞳面PPにおけるビームの強度分布の計測を行う。

【0143】

図14(B)には、瞳面PPにおけるビームの強度分布計測が行われる際の光学配置が、計測装置110の光軸AX1及び集光光学系82の光軸AXに沿って展開して示されている（但し、集光光学系82より上流側の部分は図示を省略）。図14(B)に示されるように、この状態では、ビームの光路上には、開口部97が配置されているため、第1光学系94を介した平行光は、そのまま受光器96を構成するCCD96aに入射する。この場合、CCD96aの受光面は、集光光学系82の瞳面PPと共役な位置に配置されているとみなすことができ、その瞳面PPにおけるビームの強度分布に対応する光束を受光することが可能となる。そこで、制御装置600は、受光器96の受光データ(LRD2とする、図11参照)を取り込み、その受光データLRD2に基づいて瞳面PPにおけるビームの強度分布を求める。そして、その求めた強度分布のデータをメモリに記憶する。

30

【0144】

制御装置600は、瞳面PPにおけるビームの強度分布に基づいて、例えばミラーアレイ80の複数のミラー素子 $81_p, q$ の少なくとも一部の角度を調整することができる。

40

【0145】

なお、制御装置600は、瞳面PPにおけるビームの強度分布の計測を、造形面MPにおけるビームの強度分布を計測する度に行っても良いが、造形面MPにおけるビームの強度分布計測を所定回数行う度に1回の頻度で行っても良い。

【0146】

図11には、造形装置100の制御系を中心的に構成する制御装置600の入出力関係を示すブロック図が示されている。制御装置600は、ワークステーション（又はマイクロコンピュータ）等を含み、造形装置100の構成各部を統括制御する。

【0147】

50

上述のようにして構成された本実施形態に係る造形装置 100 の基本的機能は、既存の部品（ワーク）に対し、三次元造形により所望の形状を付け加えることである。ワークは造形装置 100 に投入され、所望の形状を正確に付け加えられた後に造形装置 100 から搬出される。このとき、その付け加えられた形状の実際の形状データは、装置から外部の装置、例えば上位装置に送られる。造形装置 100 で行われる一連の作業は自動化されており、ワークの供給は、パレットにまとめた一定量を 1 ロットとして、ロット単位で投入することが可能である。

【0148】

図 15 には、制御装置 600 の一連の処理アルゴリズムに対応するフローチャートが示されている。以下のフローチャートにおける各ステップの処理（判断を含む）は、制御装置 600 によって行われるが、以下では特に必要な場合を除き、制御装置 600 に関する説明は省略する。

10

【0149】

外部から開始指令が制御装置 600 に入力されると、図 15 のフローチャートに従う処理が開始される。

【0150】

まず、ステップ S2 において、ロット内のワークの番号を示すカウンタのカウント値 n を初期化する ($n = 1$)。

【0151】

次のステップ S4 では付加加工前の 1 ロットのワークが搭載されたパレット（不図示）を外部から造形装置 100 内の所定の搬出入位置に搬入する。この搬入は、制御装置 600 の指示に応じて不図示の搬出入装置によって行われる。ここで、1 ロットは例えば $i \times j$ 個であり、パレット上に $i \times j$ 個のワークが i 行 j 列のマトリクス状の配置で搭載されている。すなわち、パレット上面には、 i 行 j 列のマトリクス状の配置でワークの搭載位置（載置位置）が定められており、それぞれの搭載位置にワークが搭載（載置）されている。例えば各搭載位置には、それぞれマークが付されており、各マークのパレット上の位置は既知である。以下では、1 ロットは、一例として $4 \times 5 = 20$ 個とし、パレット上面には、4 行 5 列のマトリクス状の配置でマークが付されており、各マークの上にワークが搭載されているものとする。例えば、ロット内の第 1 ~ 第 5 番目のワークは、それぞれ 1 行 1 列 ~ 1 行 5 列の位置に配置され、第 6 ~ 第 10 番目のワークは、それぞれ 2 行 1 列 ~ 2 行 5 列の位置に配置され、第 11 ~ 第 15 番目のワークは、それぞれ 3 行 1 列 ~ 3 行 5 列の位置に配置され、第 16 ~ 第 20 番目のワークは、それぞれ 4 行 1 列 ~ 4 行 5 列の位置に配置される。

20

30

【0152】

次のステップ S6 ではロット内の n 番目のワークをパレットから取り出してテーブル 12 に搭載する。このとき移動システム 200 は、造形装置 100 内の搬送システム 300 が設置された位置の近傍に設定されているローディング/アンローディングポジションにあるものとする。また、このときテーブル 12 は、前述した基準状態 (Z, X, Y, Z) = ($Z_0, 0, 0, 0$) にあり、その XY 位置は、位置計測系 28 によって計測されているスライダ 10 の X, Y 位置と一致している。

40

【0153】

具体的には、制御装置 600 が、カウント値 n を参照して、取り出すべきワークのパレット上の位置 (i, j) を特定するとともに、搬送システム 300 に対し、その特定した位置 (i, j) にあるワークの取り出しの指示を与える。この指示に応じ、搬送システム 300 によりワークがパレット上から取り出されてテーブル 12 上に搭載される。例えば、 $n = 1$ の場合、パレット上の 1 行 1 列目の位置にあるワークが取り出されてテーブル 12 上に搭載される。

【0154】

次いで、ステップ S7 において、ワークを搭載したテーブル 12 を、計測システム 400 (センサ部 38) の下方に移動する。このテーブル 12 の移動は、制御装置 600 が位

50

置計測系 2 8 の計測情報に基づいて、平面モータ 2 6 を制御して、移動システム 2 0 0 をベース B S 上で X 軸方向（及び Y 軸方向）に駆動することで行われる。この移動中も、テーブル 1 2 は、前述した基準状態が維持されている。

【 0 1 5 5 】

次のステップ S 8 では、計測システム 4 0 0 を用いて、基準状態にあるテーブル 1 2 上に搭載されたワーク上の対象面の少なくとも一部の三次元空間内の位置情報（本実施形態では三次元形状情報）の計測が行われる。これ以後は、この計測結果に基づき、ワーク上の対象面の 6 自由度方向の位置は、テーブル座標系（基準座標系）上で、オープンループの制御により管理することが可能になる。

【 0 1 5 6 】

次のステップ S 9 では、対象面の少なくとも一部の位置情報（形状情報）の計測が終了したワークを搭載したテーブル 1 2 を、前述と同様にしてビーム造形システム 5 0 0（ノズルユニット 8 4）の下方に移動する。

【 0 1 5 7 】

次のステップ S 1 0 では、テーブル 1 2 上のワークに 3 D データに対応する形状を付加する三次元造形による付加加工を施す。この付加加工は、次のようにして行われる。

【 0 1 5 8 】

すなわち、制御装置 6 0 0 は、付加加工により付加すべき形状（付加加工後に作られる物体の形状から付加加工の対象となるワークの形状を取り去った形状）の三次元 C A D データを三次元造形用のデータとして、例えば S T L（Stereo Lithography）データに変換し、更に、この三次元 S T L データから、Z 軸方向にスライスした各レイヤ（層）のデータを生成する。そして、制御装置 6 0 0 は、各レイヤのデータに基づき、ワークに対する各層の付加加工を行うべく、移動システム 2 0 0 及びビーム造形システム 5 0 0 を制御して、前述した一文字領域の形成、及び一文字ビームに対するノズル 8 4 a からの造形材料の供給による線状の熔融池の形成を、テーブル 1 2 をスキャン方向に走査しながら行うことを、各層について繰り返し行う。ここで、付加加工時におけるワーク上の対象面の位置及び姿勢の制御は、先に計測した対象面の位置情報（本実施形態では形状情報）を考慮して行われる。例えば、計測システム 4 0 0 を使って取得されたワーク W の対象面 T A S の位置情報（形状情報）は、ワーク W の対象面 T A S 上の目標部位 T A を、造形面 M P におけるビームの照射領域に位置合わせするために用いられる。この他、制御装置 6 0 0 は、計測システム 4 0 0 を使って取得されたワーク W の対象面 T A S の位置情報（形状情報）に基づいて、ビーム造形システム 5 0 0 をも制御する。この制御の内容としては、先に、造形面上におけるビームの強度分布、例えば造形面上に形成されるビームの照射領域の形状、大きさ、配置等を設定又は変更する方法として説明したビーム照射部 5 2 0 の各種制御、及びビームの強度分布の設定又は変更に応じて行われることとして説明した、材料処理部 5 3 0 による造形材料の供給動作に関連する各種の制御内容の全てが含まれる。

【 0 1 5 9 】

ここで、上の説明では、ワーク W の付加加工の目標部位 T A が設定される対象面（例えば上面）T A S が、テーブル 1 2 の傾きを調整することで、集光光学系 8 2 の光軸に垂直な面（X Y 平面に平行な面）に設定される平面であることを前提とし、テーブル 1 2 のスキャン動作を伴う造形が行われるものとしている。しかしながら、ワークの付加加工の目標部位が設定される対象面は、必ずしも一文字ビームが使えるような平面であるとは限らない。しかるに、本実施形態に係る造形装置 1 0 0 は、ワークが搭載されたテーブル 1 2 の 6 自由度方向の位置を任意に設定可能な移動システム 2 0 0 を備えている。そこで、かかる場合において、制御装置 6 0 0 は、計測システム 4 0 0 を用いて計測したワークの三次元形状に基づいて、移動システム 2 0 0、及びビーム造形システム 5 0 0 のビーム照射部 5 2 0 を制御して、造形面 M P に位置合わせされるワーク W 上の対象面（例えば上面）が造形面 M P 上におけるビームの照射領域内において付加加工可能な平坦と見なせる程度に造形面 M P 上におけるビーム照射領域の X 軸方向の幅を調整しつつ、ノズル 8 4 a の各開閉部材 9 3_i を介して各供給口 9 1_i の開閉操作を行い、必要な供給口から造形材料を

10

20

30

40

50

照射領域に照射されるビームに供給する。これにより、ワーク上面（対象面）が平坦でなくても、必要な部分に造形を施すことができる。

【0160】

なお、ビードの積層による造形を行う際に、造形面における照射領域のX軸方向の幅が小さいビームで付加加工（ビード形成）を行い、比較的大面積の平面を形成した後に、造形面における照射領域のX軸方向の幅を大きくした一文字ビームを使って、その平面上に付加加工（ビード形成）を行っても良い。例えば、凹凸のある対象面上に造形を行う際に、造形面における照射領域のX軸方向の幅が小さいビームで、凹部を埋める付加加工（ビード形成）を行って平面を形成した後に、造形面MPにおける照射領域のX軸方向の幅を大きくした一文字ビームを用いて、その平面上に付加加工（ビード形成）を行っても良い。かかる場合においても、造形面MPにおけるビームの照射領域の大きさ（幅）変化に応じて選択された、1つ又は複数の供給口から造形材料の粉末が供給されることは言うまでもない。

10

【0161】

ワークに対する付加加工の終了後、ステップS11において、付加加工済みのワークWを搭載したテーブル12を計測システム400の下方に移動する。

【0162】

次のステップS12では、計測システム400の三次元計測機401を用いてテーブル12上のワークの形状を検査する。具体的には、制御装置600は、付加加工済みのワークの三次元形状を、そのワークをテーブル12上に搭載したまま三次元計測機401を用いて計測し、設計値から求められる付加加工済みのワークの三次元形状に対する計測したワークの三次元形状の寸法誤差を求める。ここで、検査の対象となる付加加工済みのワーク（テーブル12上のワーク）は、最初の付加加工のみが施されたワーク及び付加加工後に後述する修正加工が施されたワークの双方を含む。

20

【0163】

検査終了後、次のステップS14において、検査により得られた寸法誤差が予め定められたしきい値以下であるか否かを判断することにより、付加加工の合否判定、すなわち合格か否かの判断を行う。そして、このステップS14における判断が肯定された場合、すなわち合格であった場合には、ステップS15に進む。

【0164】

一方、ステップS14における判断が否定された場合、すなわち不合格であった場合には、ステップS19に移行し、ワークを搭載したテーブル12をビーム造形システム500の下方に移動した後、ステップS20においてテーブル12上に搭載されているワークに対する修正加工を行う。この修正加工は、例えば、先に検査により得られた寸法誤差に基づいて、その寸法誤差が極力零になるように、通常の3Dプリンタによる造形と同様、ビーム造形システム500のビーム照射部520からのビーム（例えばスポット状のビーム）を用いて、テーブル12を静止した状態又は極低速で移動させつつ溶融池を形成することで行われる。この場合において、検査の結果得られた寸法誤差がプラス（正）の値であった場合、すなわち付加加工によりワークの対象面上に必要以上に厚い形状が付加されていた場合には、余分な部分の造形材料を除去する必要がある。本実施形態では、制御装置600が、造形材料の供給を行うことなく、ビーム造形システム500のビーム照射部520からのビームをワークの対象面上の余分な形状部分に照射してその部分の造形材料を溶かしつつ、テーブル12を急加速、急減速させつつ移動して、溶けた造形材料をワークの対象面上から除去する。なお、テーブル12を急加速、急減速させつつ移動するとともに、あるいは代わりに、溶けた造形材料を吹き飛ばす圧縮空気の噴き出し装置を、ビーム造形システム500に設けても良い。あるいは、ビームにより造形材料を溶かすことなく、余分な造形材料を機械的に除去する刃物等を有する除去装置を、ビーム造形システム500内に設けても良い。いずれにしても、ワークの対象面上から除去された造形材料（溶かされた造形材料又は機械的に除去された造形材料）を、回収する回収装置を、ビーム造形システム500内に設けることが望ましい。回収装置を、ノズル84aと全く別に設

30

40

50

けても良いが、ノズルに溶融しなかった余分の粉状の造形材料の回収口を設ける場合には、その回収口を上記の除去された造形材料の回収口として兼用しても良い。

【0165】

上述した修正加工が終了すると、ステップS11に戻り、修正加工済みのワークを搭載したテーブル12を計測システム400の下方に移動した後、次のステップS12で計測システム400の三次元計測機401を用いてテーブル12上のワークの形状を検査する。そして、ステップS14において、付加加工の合否判定、すなわち合格か否かの判断を行う。そして、再び、ステップS14における判断が否定された場合（不合格であった場合）には、以降、ステップS14における判断が肯定されるまで、すなわち、修正加工後の形状の検査結果が合格となるまで、ステップS19、S20、S11、S12、S14のループの処理（判断を含む）が繰り返され、必要なさらなる修正加工が施される。

10

【0166】

ステップS15では、付加加工済み（修正加工済みを含む）のワークが搭載されたテーブル12を前述のローディング/アンローディングポジションに移動する。

【0167】

次のステップS16では、テーブル12上に搭載されている加工済みのロット内のn番目のワークをパレットに戻す。具体的には、制御装置600が、カウント値nを参照して、パレット上の位置を特定し、搬送システム300に対し、パレット上の特定した位置にワークを戻させるための指示を与える。この指示に応じ、搬送システム300により、付加加工済みのワークがテーブル12上から取り出されてパレット上の特定された位置に戻される。上記の搬送システム300に対する指示と前後して、制御装置600は、直前にステップS12において行われたワークの形状検査で得られた、付け加えられた形状の実際の形状データを、外部の装置、例えば上位装置に送る。

20

【0168】

ステップS16の処理が実行されると、ステップS22に移行する。この時点では、テーブル12上には、ワークは存在しない。ステップS22では、カウンタのカウント値nを1インクリメント（ $n \rightarrow n + 1$ ）する。

【0169】

次のステップS24では、カウント値nがN（Nは、1ロットのワークの数、本実施形態では $N = 20$ ）を超えているか否かを判断する。そして、ステップS24における判断が否定された場合、すなわちロット内に処理が終了していないワークが存在する場合には、ステップS6に戻り、ステップS24における判断が肯定されるまで、ステップS6～S24を繰り返す。これにより、ロット内の第2番目以降のワークに対して、上述した一連の処理（判断を含む）が行われる。そして、ロット内の全てのワークに対して処理が終了し、ステップS24における判断が肯定されると、ステップS26に進んで、不図示の搬出入装置に対し、処理済みのワークが搭載されたパレットの装置外への搬出を指示した後、本ルーチンの一連の処理を終了する。

30

【0170】

なお、上の説明では、ワークに対する付加加工の終了後、付加加工済みのワークWを搭載したテーブル12を計測システム400の下方に移動して、計測システム400の三次元計測機401を用いてテーブル12上のワークの形状を検査するものとしたが、かかる検査を行うことなく、ワークに対する付加加工の終了後、付加加工済みのワークWを搭載したテーブル12を、その加工済みのワークをパレットに戻すため、ローディング/アンローディングポジションに移動することとしても良い。すなわち、付加加工済みのワークの形状検査、及びこの検査結果を用いる前述の修正加工は、必ずしも行わなくても良い。あるいは、ワークに対する付加加工の終了後、付加加工済みのワークWを搭載したテーブル12を計測システム400の下方に移動して、計測システム400の三次元計測機401を用いてテーブル12上のワークの形状を検査し、その検査結果にかかわらず、修正加工を施すことなく、付加加工済みのワークをパレットに戻すため、ローディング/アンローディングポジションに移動することとしても良い。この場合にも、検査の結果得られた

40

50

付け加えられた形状の実際の形状データは、制御装置 600 によって外部の装置、例えば上位装置に送られる。また、修正加工を行った場合は、ワークの形状検査は行わなくても良い。すなわち、ステップ S20 の次にステップ S15 に進み、修正加工済みのワークが搭載されたテーブル 12 を前述のローディング/アンローディングポジションに移動しても良い。

【0171】

また、上の説明では、ワークに対する付加加工の終了後に、修正加工の必要性の有無を判定するため、加工済みのワークの形状検査を行うために付加加工済みのワーク W を搭載したテーブル 12 を計測システム 400 の下方に移動ものとした。しかし、これに限らず、ワークに対する付加加工の途中で、ワーク W を搭載したテーブル 12 を計測システム 400 の下方に移動し、付加部分を含む対象面の位置情報（形状情報）を取得した後、ワーク W を搭載したテーブル 12 を再度、ビーム造形システム 500 の下方に移動し、取得した付加部分を含む対象面の位置情報（形状情報）に基づいて、造形を再開することとしても良い。

10

【0172】

以上、詳細に説明したように、本実施形態に係る造形装置 100 及び造形装置 100 で実行される造形方法によると、付加加工が施されたワークをテーブル 12 から取り外すことなくテーブル 12 上に搭載したままの状態でのそのワークの対象面の三次元形状を、計測システム 400 により計測することが可能になり、その計測結果に基づいて、例えば、加工後の形状の合否（OK/NG）を判定することが可能になる。そして、不合格の場合には、ワークをテーブル 12 上に搭載したまま、ビーム造形システム 500 を用いてそのまま修正加工することも可能であり、極めて効率的である。

20

【0173】

また、大量に部品を生産していく過程において、部品を製作しその場で寸法検査を行うことは、品質をコントロールする上で極めて都合が良い。なぜなら、装置の精度には様々な要因から、ドリフトが付きものである。検査をその場で行うことによって、このドリフトの傾向を制御装置 600 が感知することが出来、その結果に基づき加工精度に対してフィードバックしていくことが可能になる。すなわち、制御装置 600 は、計測システム 400 を用いて取得したワークの対象面の位置情報（形状情報）に基づいて、造形における装置のドリフトの傾向を求め、その求めた結果に応じて計測システム 400、ビーム造形システム 500 及び移動システム 200 の少なくとも 1 つを調整することが可能になり、これによって寸法の変動を抑え、歩留まり、品質ばらつきを向上させることが可能になる。

30

【0174】

なお、制御装置 600 は、造形における装置のドリフトの傾向を求める場合に限らず、計測システム 400 を用いて取得したワークの対象面の位置情報（形状情報）に基づいて、計測システム 400、ビーム造形システム 500 及び移動システム 200 の少なくとも 1 つを調整することとしても良い。この場合のワークは、付加加工を施す前のワーク、付加加工を施した後のワーク、および修正加工を施した後のワークの少なくとも 1 つを含む。

【0175】

本実施形態に係る造形装置 100 の場合、これまでの説明からもわかるように加工に伴う反力は無いに等しいので、ワークの固定状態が、加工精度や仕上がりに直結するマシンングセンタのような工作機械とは異なり、ワークをテーブル 12 上に強固に固定する必要がない。また、造形装置 100 は、計測システム 400 を備えているので、搬送システム 300 によりワークがテーブル 12 上に多少ラフに搭載されたとしても、計測システム 400 により後に改めて座標系に対する位置が特定されるので問題とならない。この計測システム 400 による三次元形状計測（3次元アライメントの一態様）が行われるが故に、搬送システム 300 による、ワークのテーブル 12 上へのロード及びテーブル 12 上からの付加加工済みのワークのアンロードを含む、一連の動作の自動化が可能となり、効率の良い生産が可能となる。

40

【0176】

50

また、本実施形態に係る造形装置100によると、前述の造形面MP内におけるビームの強度分布を、ビームと対象面TASとの相対移動による造形開始前だけでなく、ビームと対象面TASとの相対移動中に、必要な場合には連続的に変更可能であるとともに、対象面TASとビームとの相対位置に応じて、しかも要求される造形精度とスループットに応じて変更可能である。これにより、造形装置100では、例えばラピッドプロトタイプングにより造形物をワークWの対象面TAS上に高い加工精度でかつ高スループットで形成することが可能になる。

【0177】

また、造形装置100では、平坦な対象面TAS上に比較的広い面積の付加加工（造形）を行う場合に、前述した一文字ビームに対してノズル84aから粉末状の造形材料PDを供給してノズル84aの真下に線状の熔融池WPを形成し、かかる熔融池WPの形成をテーブル12をスキャン方向（図4では+Y方向）に走査しながら行う方法が採用される。この方法によると、従来の3Dプリンタ等では、図16（B）に示されるようにスポット状のビームを何十回も往復しないと生成できなかった形状を、図16（A）に示されるように、一文字ビームに対するテーブル12の数回の往復で生成することが可能になる。本実施形態によると、従来のスポット状のビームによる造形の、いわば一筆書きの造形の場合と比べて格段に短時間で造形物をワークの対象面上に形成することが可能になる。すなわち、この点においても、スループットの向上が可能になる。

【0178】

また、本実施形態に係る造形装置100によると、ミラーアレイ80の各ミラー素子の反射面の傾斜角度を変更することにより、集光光学系82の造形面内におけるビームの強度分布の変更が行われるので、その強度分布の変更として、造形面内におけるビームの照射領域の位置、数、大きさ、及び形状の少なくとも一つの変更を容易に行うことができる。したがって、例えば照射領域をスポット状、スリット状（ライン状）などに設定して、前述した手法により、ワーク上の対象面に三次元造形を施すことで、高精度な三次元造形物の形成が可能になる。

【0179】

また、本実施形態に係る造形装置100は、複数、例えば2つの粉末カートリッジ88A、88Bを有し、粉末カートリッジ88A、88Bそれぞれの内部には、第1の造形材料（例えばチタン）の粉末、第2の造形材料（例えばステンレス）の粉末が収容されている。そして、付加加工時（造形時）に、制御装置600により、材料供給装置86を用いたノズルユニット84に対する粉末の供給経路、すなわち配管90b、90cの切り換えが行われる。これにより、粉末カートリッジ88Aからの第1の造形材料（例えばチタン）の粉末と粉末カートリッジ88Bからの第2の造形材料（例えばステンレス）の粉末とが択一的にノズルユニット84に供給される。したがって、制御装置600が供給する粉末材料を部位に応じて切り換えるだけで、異種材料の接合形状が容易に生成可能である。また、その切り換えはほぼ瞬時に行うことが可能である。更に異種材料を混合して供給することで「合金を」その場で作ってしまうことも、その組成を場所によって変えたりグラデーションにしたりすることも可能である。

【0180】

本実施形態に係る造形装置100では、制御装置600は、計測装置110を用いて、前述した手法により、適当な頻度で造形面MP内におけるビームの強度分布を計測し、必要なキャリブレーションを行うことができる。例えば、制御装置600は、計測装置110を用いた造形面MP内におけるビームの強度分布の計測結果に基づいて、ミラーアレイ80などを制御して、造形面MP内におけるビームの強度分布を調整することができる。

【0181】

また、制御装置600は、計測装置110を用いて造形面MP内におけるビームの強度分布の計測を、例えばワークに対する造形処理（付加加工）に先立って行い、その計測結果に基づいて、造形処理中に、ビーム造形システム500と移動システム200との少なくとも一方の調整を行うこととしても良い。この場合も、造形面MP内におけるビームの

10

20

30

40

50

強度分布の計測に続いて、瞳面 P P におけるビームの強度分布の計測を行い、その結果に基づいて、造形処理中に、ビーム造形システム 5 0 0 と移動システム 2 0 0 との少なくとも一方の調整（制御）を行うこととしても良い。

【 0 1 8 2 】

この場合における移動システム 2 0 0 の調整（制御）としては、ワーク W の対象面 T A S 上の目標部位 T A を、造形面 M P におけるビームの照射領域に位置合わせするための、テーブル 1 2 の位置制御が代表的に挙げられる。

【 0 1 8 3 】

また、ビーム造形システム 5 0 0 の調整（制御）の内容としては、先に、造形面上におけるビームの強度分布、例えば造形面上に形成されるビームの照射領域の形状、大きさ、配置等を設定又は変更する方法として説明したビーム照射部 5 2 0 の各種制御、及びこのビームの強度分布の設定又は変更に応じて行われることとして説明した、材料処理部 5 3 0 による造形材料の供給動作に関連する各種の制御内容の全てが含まれる。

【 0 1 8 4 】

また、造形面 M P におけるビームの強度分布の計測を、テーブル 1 2 が静止した状態で受光器 9 6 で一度に行うことができない場合、例えば、造形面 M P におけるビームの照射領域の配置範囲が広い場合などには、テーブル 1 2（計測部材 9 2 の開口 9 2 a）を X Y 平面内で X 軸方向及び Y 軸方向の少なくとも一方向に移動しながら造形面 M P におけるビームの強度分布の計測が行われる。

【 0 1 8 5 】

なお、本実施形態に係る造形装置 1 0 0 では、テーブル 1 2 に計測装置 1 1 0 の全ての構成部分が設けられているが、これに限らず、C C D 9 6 a の受光面と、受光部として機能する計測部材 9 2 の開口 9 2 a の形成面との光学的な共役関係が保たれるのであれば、計測部材 9 2 以外の計測装置 1 1 0 の構成部分は、テーブル 1 2 の外部に設けても良い。

【 0 1 8 6 】

また、上述の計測装置 1 1 0 と同様のセンサ装置が搭載され、テーブル 1 2 とは独立して移動可能な可動部材を、テーブル 1 2 とは別に設けても良い。この場合、可動部材は、X、Y、Z の 3 軸方向に可動であれば良く、制御装置 6 0 0 が、テーブル座標系上でその可動部材及びセンサの位置を制御（管理）可能な構成を採用しても良い。センサ装置を用いて、制御装置 6 0 0 が、前述した造形面におけるビームの強度分布の計測を行うことができる。この場合も、瞳面 P P におけるビームの強度分布の計測を行うようにしても良い。また、この場合、制御装置 6 0 0 は、センサ装置を用いて計測した造形面 M P 内におけるビームの強度分布に基づいて、造形処理中に、上述したビーム造形システム 5 0 0 と移動システム 2 0 0 との少なくとも一方の調整を行うこととしても良い。この他、制御装置 6 0 0 は、テーブル 1 2 上のワークを、計測システム 4 0 0 を用いて計測するのと並行して、センサ装置を用いて前述した造形面におけるビームの強度分布の計測などを行うことができる。

【 0 1 8 7 】

なお、これまでの説明からわかるように、計測装置 1 1 0 は、ビームの強度の照射領域内部のむら（強度分布）を検出するむらセンサとしても用いることができる。

【 0 1 8 8 】

また、計測装置 1 1 0 を使って集光光学系 8 2 の波面収差を計測するようにしても良い。例えば、図 1 3 に示される回転板 1 0 1 の空き領域、例えば図 1 3 中の仮想線（二点鎖線）の円内の領域に開口 9 2 a の形成面と、C C D 9 6 a の受光面とを光学的に共役にする複数のマイクロレンズがマトリックス状に配置されたマイクロレンズアレイを配置しても良い。この場合、回転板 1 0 1 を回転させて、そのマイクロレンズアレイを、第 1 光学系 9 4 から射出される平行光の光路上に位置させ、光透過部としてピンホールパターンが形成されたパターン板を、例えば第 2 フライアイレンズ系 7 6 の射出側に配置することで、集光光学系 8 2 の波面収差を計測可能なシャック・ハルトマン方式の波面収差計測器を構成することも可能である。この場合、パターン板は、第 2 フライアイレンズ系 7 6 の射

10

20

30

40

50

出側に挿脱可能な構成である。波面収差計測が可能な構成を採用した場合、集光光学系 8 2 の後側焦点面の位置が変化しても、波面収差計測結果から、変化後の集光光学系 8 2 の後側焦点面の位置を計測することができ、それに基づいて造形面 M P の位置を変更したり、計測装置 1 1 0 による計測処理の際の計測部材 9 2 の上面の位置を調整したりすることができる。また、波面収差計測が可能な構成を採用した場合、併せて、集光光学系 8 2 の光学特性を調整可能な構成としても良い。例えば、集光光学系 8 2 を複数のレンズで構成し、そのうちの一部のレンズを、圧電素子等の駆動素子により、光軸 A X 方向及び光軸 A X に直交する平面に対する傾斜方向（チルト方向）に駆動可能な構成としても良い。かかる場合には、可動なレンズを軸 A X 方向及びチルト方向の少なくとも一方の方向に駆動することで、集光光学系 8 2 の光学特性を調整することができる。

10

【 0 1 8 9 】

この他、上述した計測装置 1 1 0 に代えて、図 1 7 に示されるように、前述の受光器 9 6 を、テーブル 1 2 の上面に、C C D 9 6 a の受光面が、テーブル 1 2 のその他の部分と面一（同一面）となるように配置しても良い。そして、この受光器 9 6 により、造形面 M P におけるビームの強度分布を計測することとしても良い。この場合も、テーブル 1 2 が停止した状態での計測だけではなく、テーブル 1 2 が動きながらのビームの強度分布を計測するスキャン計測を可能にすることで、C C D やミラーアレイの有限な画素数の影響を排除し、正しい計測結果を得ることができる。このように、集光光学系 8 2 からのビームを受光するセンサでビームの強度分布を計測することで、集光光学系 8 2 の熱収差などの変動要因も加味されたビームの強度分布の管理が可能となる。また、その結果に基づいてミラーアレイ 8 0 などを制御することによって、集光光学系 8 2 の後側焦点面などにおけるビームの強度分布を所望状態に精度良く設定することができる。

20

【 0 1 9 0 】

なお、上記実施形態では、ビーム造形システム 5 0 0 により単一の直線状のビーム（一文字ビーム）の照射領域を形成し、該一文字ビームに対してワーク W を走査方向（例えば Y 軸方向）に走査する場合について説明した。しかしながら、ビーム造形システム 5 0 0 では、前述したように、集光光学系 8 2 に入射する複数の平行ビーム L B の入射角度に、適切な角度分布をつけることで、造形面 M P 上におけるビームの強度分布を自在に変更できる。したがって、造形装置 1 0 0 では、造形面 M P 上におけるビームの照射領域の位置、数、大きさ及び形状の少なくとも 1 つを変更することができ、前述したようにビームの照射領域として例えば一文字領域、三列領域、欠損一文字領域など（図 1 0 参照）を形成することも可能である。

30

【 0 1 9 1 】

これまでは、一文字領域をできるだけ細くシャープにすることで、デフォーカスした時にその一文字領域に照射されるビームのエネルギー密度が急激に低下することを利用し、溶融池（塗布層）の厚さ制御性を極力高めた使い方を前提に説明を行っていた。しかし、この場合、塗布層の厚さは非常に薄くなり、同一厚さの層を付加する場合に、より多くの層に分けて付加工（造形）を行わなければならない（何度も重ね塗りしなければならない）、生産性の観点では不利になる。

【 0 1 9 2 】

したがって、要求される造形精度とスループットの兼ね合いを考慮の上、塗布層の厚さを厚くしたい場合が考えられる。かかる場合には、制御装置 6 0 0 は、要求される造形精度とスループットとに応じて、造形面内におけるビームの強度分布を変化させる、具体的にはミラーアレイ 8 0 の各ミラー素子 $8 1 p, q$ の傾き角を制御して一文字領域の幅を少し太くすれば良い。例えば図 1 8 (B) に示される一文字領域 L S が一文字領域 L S ' に変化する。このようにすると、デフォーカスした時のエネルギー密度変化が緩やかになり、図 1 8 (A) に示されるように、鉛直方向の高エネルギーエリアの厚さ h が厚くなり、これにより 1 回のスキャンで生成できる層の厚さを厚くすることができ、生産性を向上させることができる。

40

【 0 1 9 3 】

50

以上のように、本実施形態に係る造形装置 100 は、従来の金属用 3D プリントと比較して、多数の利便性、実際の加工現場の要求に沿うソリューションを備えていることが大きな特徴である。

【0194】

なお、上記実施形態では、一例として、パレットにまとめた一定量を 1 ロットとして、ロット単位でワークが処理される場合について説明したが、これに限らず、ワークを 1 つずつ処理しても良い。この場合、搬送システム 300 によって、外部搬送系から受けとった加工前のワークがテーブル 12 上にロードされるとともに、加工終了後のワークがテーブル上からアンロードされて、外部搬送系に渡される。

【0195】

なお、上記実施形態では、空間光変調器としてミラーアレイ 80 を用いる場合について説明したが、これに代えて、MEMS 技術によって作製されるデジタル・マイクロミラー・デバイス (Digital Micromirror Device: DMD (登録商標)) を多数マトリクス状に配置して成る大面積のデジタル・ミラーデバイスをを用いても良い。かかる場合には、各ミラー素子の状態 (例えばチルト角) をエンコーダなどで計測することは困難になる。かかる場合には、その大面積のデジタル・ミラーデバイスの表面に検出光を照射し、デジタル・ミラーデバイスを構成する多数のミラー素子からの反射光を受光し、その強度分布に基づき、各ミラー素子の状態を検出する検出システムを用いても良い。この場合、検出システムは、デジタル・ミラーデバイスによって形成される像を撮像手段により撮像して得られた画像情報に基づいて多数のミラー素子それぞれの状態を検出するものであっても良い。

【0196】

なお、上記実施形態に係る造形装置 100 において、ロータリエンコーダ 83_{p,q} とともに、図 11 に仮想線で示される検出システム 89 を、用いても良い。この検出システム 89 としては、ミラーアレイ 80 の表面に検出光を照射し、ミラーアレイ 80 を構成する多数のミラー素子 81_{p,q} からの反射光を受光し、その強度分布に基づき、各ミラー素子 81_{p,q} の状態を検出する検出システムを用いることができる。検出システムとしては、例えば米国特許第 8,456,624 号明細書に開示されるものと同様の構成のシステムを用いることができる。

【0197】

また、上記実施形態では、各ミラー素子 81_{p,q} の反射面の基準面に対する傾斜角度を変更可能なタイプのミラーアレイ 80 を用いる場合について例示したが、これに限らず、各ミラー素子が、基準面に対して傾斜可能かつ基準面に直交する方向に変位可能な構造のミラーアレイを採用しても良い。また、各ミラー素子は、必ずしも基準面に対して傾斜可能でなくても良い。このように、基準面に直交する方向に変位可能なミラーアレイは、例えば米国特許第 8,456,624 号明細書に開示されている。その他、各ミラー素子が、基準面に平行な互いに直交する 2 軸の回りに回転可能 (すなわち直交する 2 方向の傾斜角度を変更可能) なタイプのミラーアレイを採用しても良い。このように直交する 2 方向の傾斜角度を変更可能なミラーアレイは、例えば米国特許第 6,737,662 号明細書に開示されている。これらの場合においても、上記米国特許第 8,456,624 号明細書に開示される検出システムを用いて各ミラー素子の状態を検出することができる。

【0198】

なお、ミラーアレイ 80 の表面に検出光を照射し、ミラーアレイ 80 を構成する多数のミラー素子 81_{p,q} からの反射光を受光する検出システムを用いても良い。あるいは、検出システムとして、各ミラー素子の基準面 (ベース) に対する傾斜角及び間隔を個別に検出するセンサを、ミラーアレイ (光学デバイス) に設けても良い。

【0199】

なお、上記実施形態では、集光光学系 82 の瞳面に入射する複数の平行ビームの入射角度を個別に制御することにより造形面上でのビームの強度分布の変更を行う場合について説明したが、集光光学系 82 の瞳面に入射する複数の平行ビームの全ての入射角度が制御

10

20

30

40

50

(変更)可能でなくても良い。したがって、上記実施形態と同様にミラーアレイを用いて集光光学系82に入射する平行ビームの入射角度を制御する場合などに、全てのミラー素子が反射面の状態(反射面の位置及び傾斜角度の少なくとも一方)を変更可能でなくても良い。また、上記実施形態では、集光光学系82に入射する複数の平行ビームの入射角度の制御、すなわち造形面上におけるビームの強度分布の変更のためにミラーアレイ80を用いる場合について説明したが、ミラーアレイに代えて、以下に説明する空間光変調器(非発光型画像表示素子)を用いても良い。透過型空間光変調器としては、透過型液晶表示素子(LCD:Liquid Crystal Display)以外に、エレクトロクロミックディスプレイ(ECD)等が例として挙げられる。また、反射型空間光変調器としては、上述のマイクロミラー・アレイの他に、反射型液晶表示素子、電気泳動ディスプレイ(EPD:Electro Phonic Display)、電子ペーパー(又は電子インク)、光回折型ライトバルブ(Grating Light Valve)等が例として挙げられる。また、上記実施形態では、造形面上におけるビームの強度分布の変更のためミラーアレイ(空間光変調器の一種)を用いる場合について説明したが、空間光変調器をその他の目的で用いても良い。

10

【0200】

また、上述したように、集光光学系82は大口径であることが望ましいが、開口数 $N.A.$ が0.5より小さい集光光学系を用いても良い。

【0201】

なお、上記実施形態では、造形材料としてチタン、ステンレスの粉末を用いる場合について例示したが、鉄粉その他の金属の粉末は勿論、ナイロン、ポリプロピレン、ABS等の粉末など金属以外の粉末を用いることも可能である。また、造形材料として粉末以外のもの、例えば溶接に用いられるフィラワイヤなどを用いる場合にも、上記実施形態に係る造形装置100は適用が可能である。ただし、この場合には、粉末カートリッジ及びノズルユニットなどの粉末の供給系に代えて、ワイヤ送り装置などが設けられることになる。

20

【0202】

また、上記実施形態では、ノズル84aの複数の供給口91_jのそれぞれから粉末状の造形材料PDを集光光学系82の光軸AXに平行なZ軸方向に沿って供給する場合について説明したが、これに限らず、光軸AXに対して傾斜した方向から造形材料(粉末)を供給しても良い。また鉛直方向に対して傾斜した方向から造形材料(粉末)を供給しても良い。

【0203】

なお、上記実施形態の造形装置100において、材料処理部が備えるノズル84aは、前述の造形材料の供給口とともに、溶融されなかった粉末状の造形材料を回収する回収口(吸引口)を有していても良い。

30

【0204】

これまでは、既存のワークに形状を付け加える例について説明したが、本実施形態に係る造形装置100の使用用途がこれに限られるものではなく、通常の3Dプリンタなどと同様に、テーブル12上で何も無いところから三次元形状を造形によって生成することも可能である。この場合は、「無」というワークに、付加加工を施すことに他ならない。かかるテーブル12上での三次元造形物の造形の際には、制御装置600は、計測システム400が備えるマーク検出系56(図11参照)により、テーブル12上に予め形成された最低三か所のアライメントマークを光学的に検出することで、テーブル12上に設定される造形の対象面の6自由度方向の位置情報を求め、この結果に基づいてビーム(の照射領域)に対するテーブル12上の対象面の位置及び姿勢を制御しつつ、三次元造形を行えば良い。

40

【0205】

なお、上記実施形態では、一例として、制御装置600が、移動システム200、搬送システム300、計測システム400及びビーム造形システム500の構成各部を制御する場合について説明したが、これに限らず、造形システムの制御装置を、マイクロプロセッサ等の処理装置をそれぞれ含む複数のハードウェアにより構成しても良い。この場合において、移動システム200、搬送システム300、計測システム400及びビーム造形

50

システム 500 のそれぞれが処理装置を備えていても良いし、移動システム 200、搬送システム 300、計測システム 400 及びビーム造形システム 500 のうちの少なくとも 2 つを制御する第 1 処理装置と、残りのシステムを制御する第 2 処理装置との組み合わせであっても良いし、あるいは上記 4 つのシステムの中の 2 つを制御する第 1 処理装置と、残り 2 つのシステムを個別に制御する第 2 及び第 3 処理装置との組み合わせであっても良い。いずれの場合もそれぞれの処理装置が、上述した制御装置 600 の機能の一部を受け持つことになる。あるいは、複数のマイクロプロセッサ等の処理装置と、これらの処理装置を統括的に管理するホスト・コンピュータとによって、造形システムの制御装置を構成しても良い。

【0206】

上述の各実施形態の構成要件の少なくとも一部は、上述の各実施形態の構成要件の少なくとも他の一部と適宜組み合わせることができる。上述の各実施形態の構成要件のうちの一部が用いられなくても良い。また、法令で許容される限りにおいて、上述の各実施形態で引用した全ての公開公報及び米国特許の開示を援用して本文の記載の一部とする。

【産業上の利用可能性】

【0207】

以上説明したように、本発明に係る造形装置及び造形方法は、三次元造形物の形成に適している。

【符号の説明】

【0208】

12 ... テーブル、82 ... 集光光学系、83 ... ロータリエンコーダ、91 ... 供給口、85 ... 制限部材、89 ... 検出システム、92 ... 計測部材、92a ... 開口、100 ... 造形装置、110 ... 計測装置、200 ... 移動システム、300 ... 搬送システム、400 ... 計測システム、401 ... 三次元計測機、500 ... ビーム造形システム、520 ... ビーム照射部、530 ... 材料処理部、600 ... 制御装置、PD ... 造形材料、LS ... 一文字領域、TA ... 目標部位、TAS ... 対象面、W ... ワーク、WP ... 溶融池。

10

20

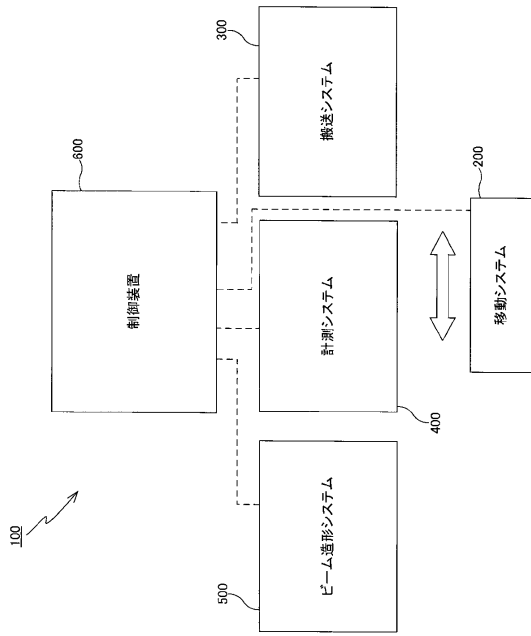
30

40

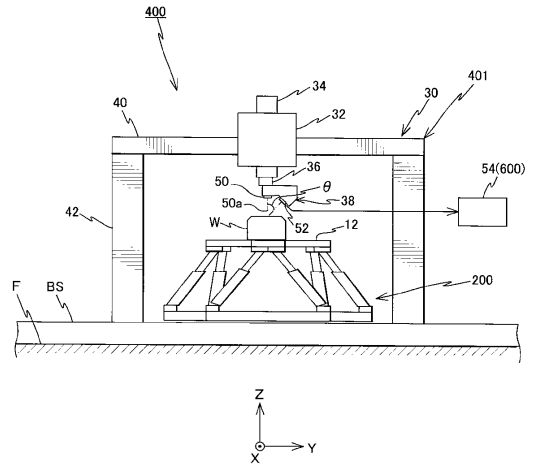
50

【図面】

【図 1】



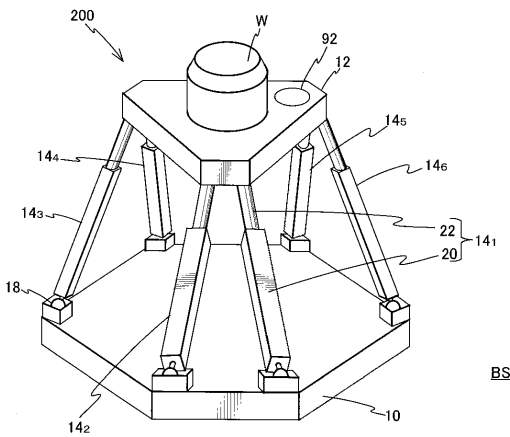
【図 2】



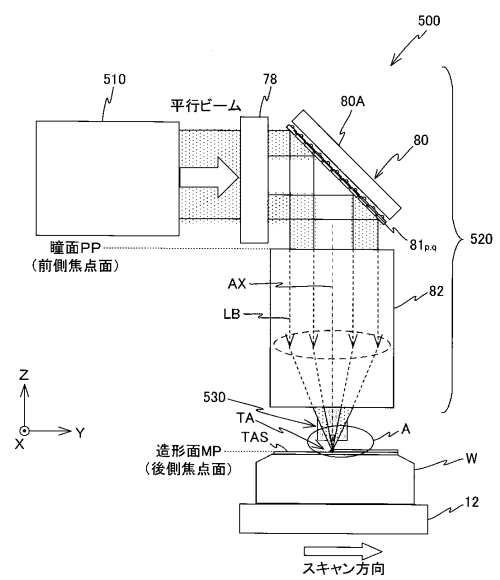
10

20

【図 3】



【図 4】

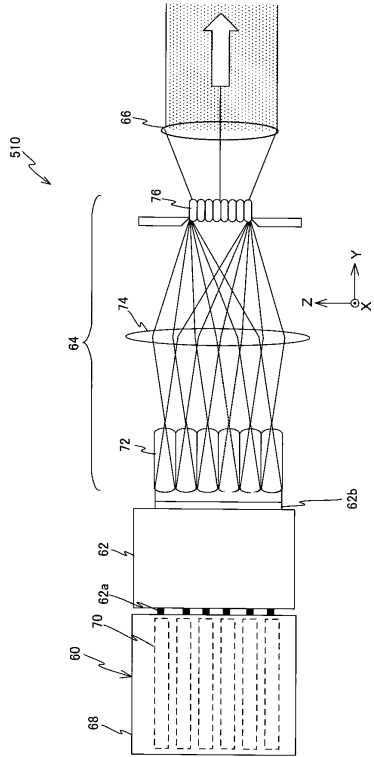


30

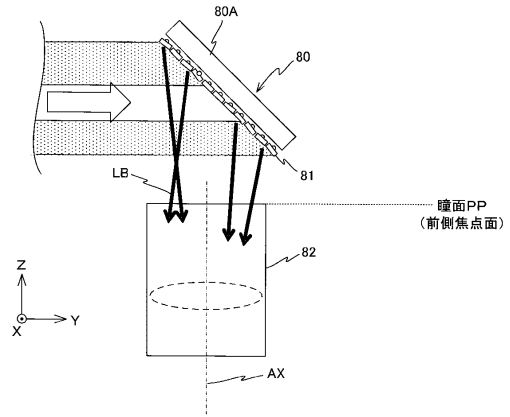
40

50

【図5】



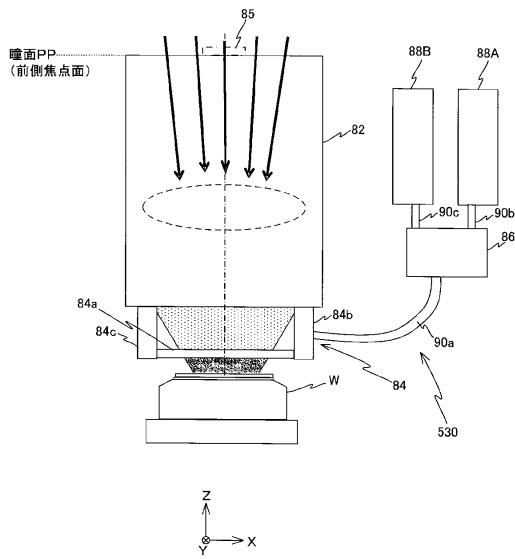
【図6】



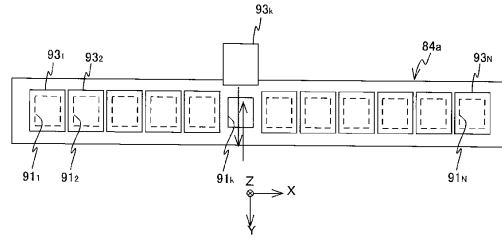
10

20

【図7】



【図8】

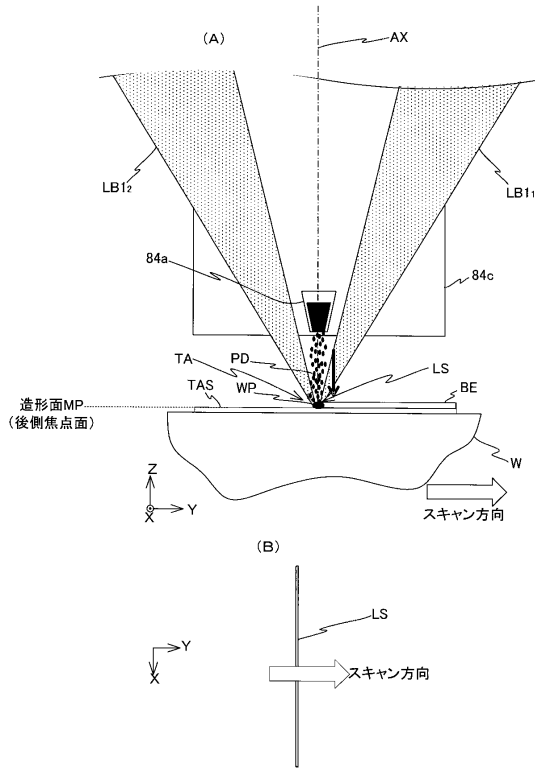


30

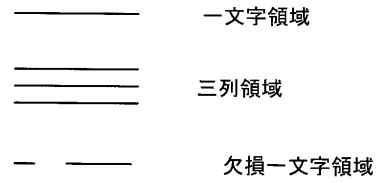
40

50

【図9】



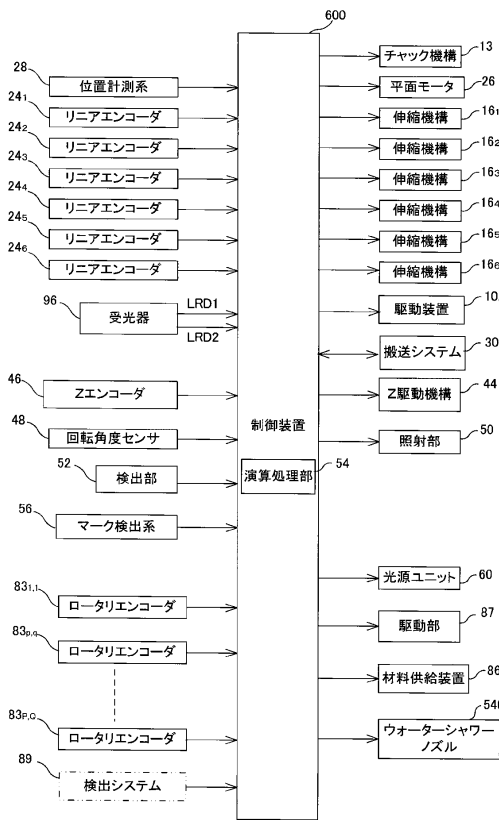
【図10】



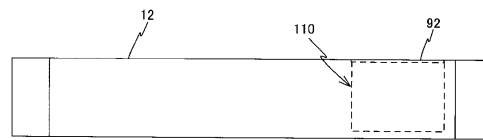
10

20

【図11】



【図12】

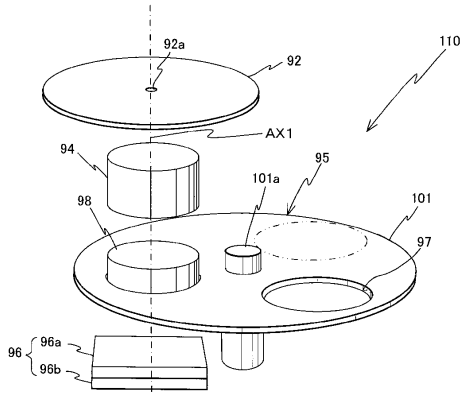


30

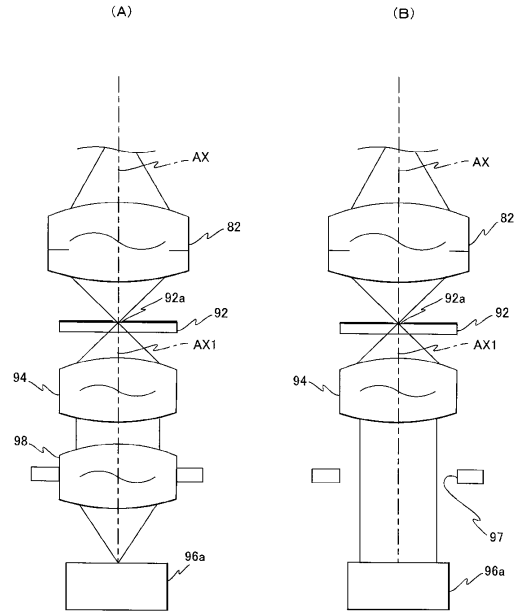
40

50

【図13】



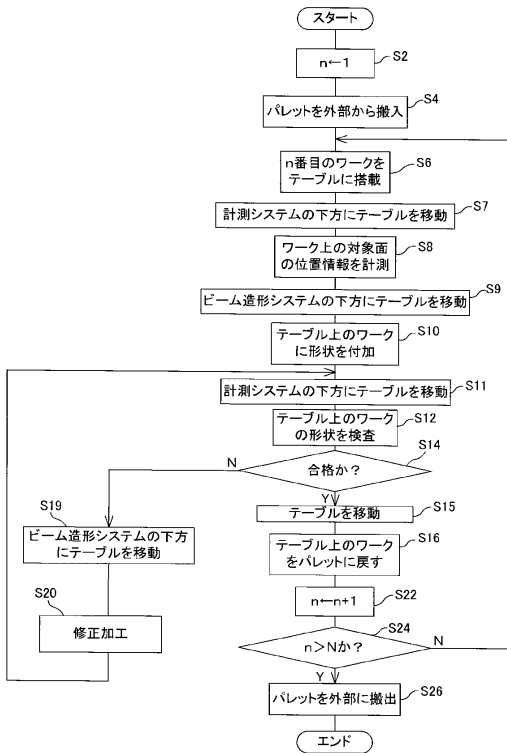
【図14】



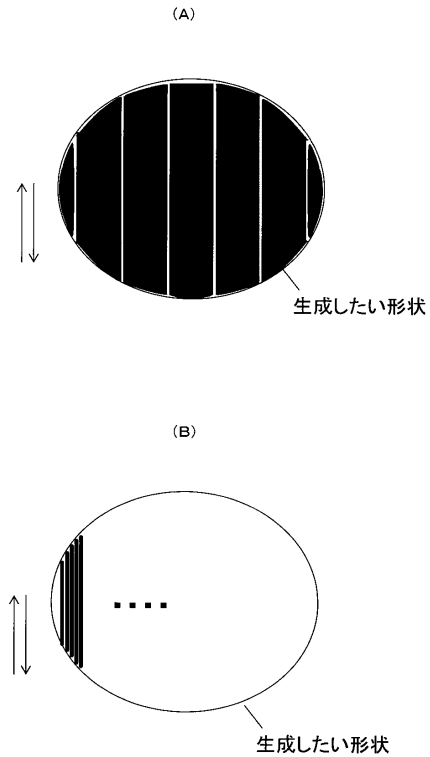
10

20

【図15】



【図16】

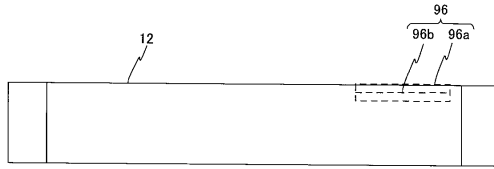


30

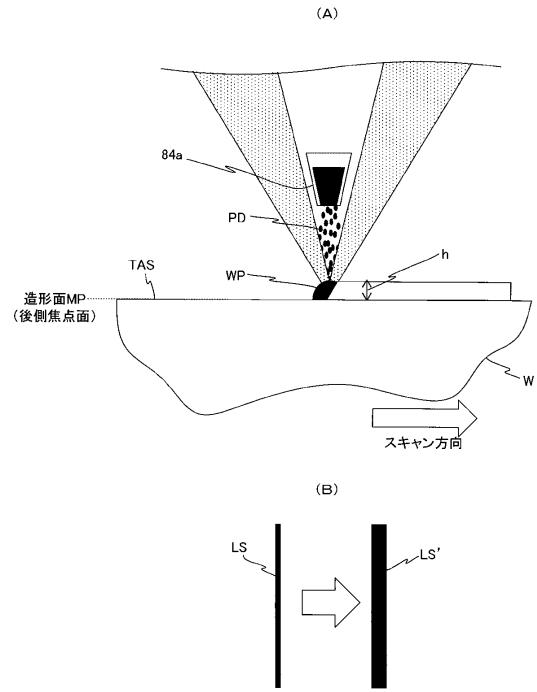
40

50

【図 17】



【図 18】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

B 2 2 F 12/50 (2021.01)
B 2 2 F 12/88 (2021.01)
B 2 3 K 26/34 (2014.01)
B 3 3 Y 10/00 (2015.01)
B 3 3 Y 30/00 (2015.01)
B 3 3 Y 50/00 (2015.01)
G 0 1 B 11/25 (2006.01)

F I

B 2 2 F 12/50
 B 2 2 F 12/88
 B 2 3 K 26/34
 B 3 3 Y 10/00
 B 3 3 Y 30/00
 B 3 3 Y 50/00
 G 0 1 B 11/25

H

(56)参考文献

特開 2 0 0 2 - 1 1 5 0 0 4 (J P , A)

特表 2 0 1 3 - 5 4 2 4 0 1 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B名)

B 2 2 F 1 2 / 0 0

B 2 2 F 1 0 / 0 0

B 3 3 Y 1 0 / 0 0

B 3 3 Y 5 0 / 0 0

B 3 3 Y 3 0 / 0 0