(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7639823号
(P7639823)

(45)発行日　令和7年3月5日(2025.3.5)

(24)登録日　令和7年2月25日(2025.2.25)

(51)国際特許分類

Ｂ２３Ｋ　26/34　(2014.01)	Ｂ２３Ｋ	26/34	
Ｂ２３Ｋ　26/21　(2014.01)	Ｂ２３Ｋ	26/21	Ｚ
Ｂ３３Ｙ　30/00　(2015.01)	Ｂ３３Ｙ	30/00	
Ｂ３３Ｙ　50/02　(2015.01)	Ｂ３３Ｙ	50/02	

ＦＩ

請求項の数　13　（全49頁）

(21)出願番号　特願2022-538551(P2022-538551)
(86)(22)出願日　令和2年7月22日(2020.7.22)
(86)国際出願番号　PCT/JP2020/028425
(87)国際公開番号　WO2022/018853
(87)国際公開日　令和4年1月27日(2022.1.27)
審査請求日　令和5年1月18日(2023.1.18)

(73)特許権者　000004112
株式会社ニコン
東京都品川区西大井一丁目５番２０号
(74)代理人　100104765
弁理士　江上 達夫
(72)発明者　倉見 俊光
東京都港区港南二丁目１５番３号 株式会社ニコン内
(72)発明者　チー ウェイ リン
アメリカ合衆国 ９４００２ カリフォルニア州ベルモントショアウェイロード１３９９ ニコン・リサーチ・コーポレーション・オブ・アメリカ内
(72)発明者　ユン ジュン ジョン
アメリカ合衆国 ９４００２ カリフォルニア
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　加工システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

物体にエネルギービームを照射する照射系と、

前記エネルギービームで照射される造形材料を供給する材料供給部材と、

前記物体の表面の高さに関する情報を取得する計測装置と、

前記計測装置の計測結果に基づいて、前記材料供給部材と前記表面との間の距離を変更する距離変更装置と

を備え、

前記距離変更装置は、前記表面の高さが所望の高さより低い場合には、前記材料供給部材と前記表面との間の距離を長くするよう変更し、前記表面の高さが所望の高さより高い場合には、前記材料供給部材と前記表面との間の距離を短くするよう変更する加工システム。

【請求項２】

前記物体の表面の高さに関する情報は、前記物体の高さを示す情報及び前記物体の理想的な高さを示す情報の少なくとも一つを含む

請求項１に記載の加工システム。

【請求項３】

前記物体の表面の高さに関する情報は、前記物体の高さと前記物体の理想的な高さとの差に関する情報を含む

請求項１又は２に記載の加工システム。

【請求項４】
前記照射系を第１の移動方向に移動させる移動装置を更に備え、
前記計測装置は、前記第１の移動方向における前方における前記表面の高さに関する情報を取得する
請求項１から３のいずれか一項に記載の加工システム。
【請求項５】
前記物体の加工前に、前記照射系を制御するための照射系制御情報を取得する取得部と、
前記取得部によって取得された前記照射系制御情報に基づいて前記照射系を制御する制御部と
を更に備え、
前記物体の加工開始後に、前記照射系制御情報を変更することなしに、前記距離変更装置によって前記材料供給部材と前記表面との間の距離を変更することにより、造形量を制御する
請求項１から４のいずれか一項に記載の加工システム。
【請求項６】
前記距離変更装置は、前記材料供給部材を制御して前記材料供給部材を動かす
請求項１から５のいずれか一項に記載の加工システム。
【請求項７】
前記材料供給部材は、異なる方向を向いた複数の材料供給口から前記造形材料を供給し、
前記距離変更装置によって前記材料供給部材を動かすことにより、前記複数の材料供給口から供給される前記造形材料の集中領域を変更する
請求項６に記載の加工システム。
【請求項８】
前記材料供給部材は、異なる方向を向いた複数の材料供給口から前記造形材料を供給し、
前記距離変更装置によって前記材料供給部材を動かすことにより、前記複数の材料供給口から供給される前記造形材料の集中領域と前記物体との間の距離を変更する
請求項６又は７に記載の加工システム。
【請求項９】
前記材料供給部材は、第１の方向を向いた第１材料供給口を有する第１材料供給部材と、前記第１の方向とは異なる第２の方向を向いた第２材料供給口を有する第２材料供給部材とを含み、
前記距離変更装置によって前記第１及び第２材料供給部材の一方のみを動かすことにより、前記第１及び第２材料供給口から供給される前記造形材料の集中領域を変更する
請求項６から８のいずれか一項に記載の加工システム。
【請求項１０】
前記材料供給部材は、第１の方向を向いた第１材料供給口を有する第１材料供給部材と、前記第１の方向とは異なる第２の方向を向いた第２材料供給口を有する第２材料供給部材とを含み、
前記距離変更装置によって前記第１材料供給部材と前記第２材料供給部材の移動量を異ならせて移動させることにより、前記第１及び第２材料供給口から供給される前記造形材料の集中領域を変更する
請求項６から９のいずれか一項に記載の加工システム。
【請求項１１】
前記エネルギービームを前記造形材料に照射して前記物体を付加加工した位置に関する情報を出力する出力装置を更に備え、
前記出力装置は、前記付加加工がされた際の前記材料供給部材と前記表面との間の距離の違いに応じて、前記付加加工された前記物体の位置に関する情報を出力する
請求項１から１０のいずれか一項に記載の加工システム。
【請求項１２】
前記出力装置は、表示装置を含む

請求項１１に記載の加工システム。
【請求項１３】
照射系を用いて、物体にエネルギービームを照射することと、
材料供給部材を用いて、前記エネルギービームで照射される造形材料を供給することと、
計測装置を用いて、前記物体の表面の高さに関する情報を取得することと、
前記計測装置の計測結果に基づいて、前記材料供給部材と前記表面との間の距離を変更することと
を備え、
前記材料供給部材と前記表面との間の距離を変更することは、前記表面の高さが所望の高さより低い場合には、前記材料供給部材と前記表面との間の距離を長くするよう変更し、前記表面の高さが所望の高さより高い場合には、前記材料供給部材と前記表面との間の距離を短くするよう変更することを含む
加工方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、例えば、物体を加工する加工システムの技術分野に関する。
【背景技術】
【０００２】
物体を加工する加工システムの一例が、特許文献１に記載されている。このような加工システムが有する技術的課題の一つとして、物体を適切に加工することがあげられる。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【文献】米国特許公開第２０１６／０３７５５２１Ａ１号
【発明の概要】
【０００４】
第１の態様によれば、物体にエネルギービームを照射する照射系と、前記エネルギービームで照射される造形材料を供給する材料供給部材と、前記物体の表面の高さに関する情報を取得する計測装置と、前記計測装置の計測結果に基づいて、前記材料供給部材と前記表面との間の距離を変更する距離変更装置とを備え、前記距離変更装置は、前記表面の高さが所望の高さより低い場合には、前記材料供給部材と前記表面との間の距離を長くするよう変更し、前記表面の高さが所望の高さより高い場合には、前記材料供給部材と前記表面との間の距離を短くするよう変更する加工システムが提供される。
【０００５】
第２の態様によれば、物体にエネルギービームを照射する照射系と、前記エネルギービームで照射される造形材料を供給する材料供給部材と、前記物体の表面の高さに関する情報を取得する計測装置と、前記計測装置の計測結果に基づいて、前記材料供給部材と前記表面との間の距離を変更する距離変更装置とを備える加工システムが提供される。
【０００６】
第３の態様によれば、物体にエネルギービームを照射する照射系と、前記エネルギービームで照射される造形材料を供給する材料供給部材と、前記物体の表面の高さに関する情報を取得する計測装置と、前記計測装置の計測結果に基づいて、前記材料供給部材の方向を変化させる方向変更装置とを備える加工システムが提供される。
【０００７】
第４の態様によれば、物体にエネルギービームを照射する照射系と、前記エネルギービームで照射される造形材料を供給する材料供給部材と、前記物体の表面の高さに関する情報を取得する計測装置と、前記計測装置の計測結果に基づいて、前記造形材料の供給量を変更する材料供給制御装置とを備える加工システムが提供される。
【０００８】

第５の態様によれば、物体にエネルギービームを照射する照射系と、前記エネルギービームが照射される造形材料を供給する材料供給部材と、前記物体の表面の位置に関する情報を取得する計測装置と、前記計測装置の計測結果に基づいて、前記材料供給部材を制御する材料供給制御装置とを備える加工システムが提供される。

【０００９】

第６の態様によれば、物体にエネルギービームを照射する照射系と、前記エネルギービームが照射される造形材料を供給する材料供給部材と、前記物体の表面の高さが所望の高さよりも低い場合に、前記材料供給部材と前記表面との間の距離を長くするよう変更する距離変更装置とを備える加工システムが提供される。

【００１０】

第７の態様によれば、物体にエネルギービームを照射する照射系と、前記エネルギービームが照射される造形材料を供給する材料供給部材と、前記物体の表面の高さが所望の高さよりも低い場合に、前記材料供給部材によって供給される前記造形材料の集中領域と前記表面との間の距離を短くするよう変更する集中領域変更装置とを備える加工システムが提供される。

【００１１】

第８の態様によれば、物体にエネルギービームを照射する照射系と、前記エネルギービームが照射される造形材料を供給する材料供給部材と、前記物体の表面の高さが所望の高さよりも低い場合の前記造形材料の集中領域が、前記表面の高さが前記所望の高さよりも高い場合の前記集中領域よりも上に位置するように制御する制御装置とを備える加工システムが提供される。

【００１２】

第９の態様によれば、物体にエネルギービームを照射する照射系と、前記エネルギービームが照射される造形材料を供給する材料供給部材と、前記物体の表面の位置に関する情報を取得する計測装置と、前記計測装置の計測結果に基づいて、前記照射系を制御して前記エネルギービームの収斂位置を変更する制御装置とを備える加工システムが提供される。

【００１３】

第１０の態様によれば、物体にエネルギービームを照射する照射系と、前記エネルギービームで照射される造形材料を供給する材料供給部材と、前記物体の表面の高さに関する情報を取得する計測装置とを備え、前記照射系の最終光学要素と前記材料供給部材の相対位置が可変である加工システムが提供される。

【００１４】

第１１の態様によれば、物体にエネルギービームを照射する照射系と、前記エネルギービームで照射される造形材料を供給する材料供給部材と、前記物体の表面の高さに関する情報を取得する計測装置とを備え、前記計測装置と前記材料供給部材との相対位置が可変である加工システムが提供される。

【００１５】

第１２の態様によれば、物体にエネルギービームを照射する照射系と、前記エネルギービームで照射される造形材料を供給する材料供給部材と、前記物体の表面の高さに関する情報を取得する計測装置と、前記照射系の最終光学要素と前記材料供給部材との相対的な方向関係を可変とする加工システムが提供される。

【００１６】

第１３の態様によれば、物体にエネルギービームを照射する照射系と、前記エネルギービームで照射される造形材料を供給する材料供給部材と、前記物体の表面の高さに関する情報を取得するための計測光を照射する計測光照射装置とを備え、前記計測光照射装置と前記材料供給部材のとの相対的な方向関係を可変である加工システムが提供される。

【００１７】

本発明の作用及び他の利得は次に説明する実施するための形態から明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

【００１８】

【図１】図１は、第１実施形態の加工システムの構造を示す断面図である。
【図２】図２は、第１実施形態の加工システムのシステム構成を示すシステム構成図である。
【図３】図３は、材料ノズルから供給される造形材料Ｍの供給経路を示す断面図である。
【図４】図４は、高さが異なる複数の表面を備える計測対象物に照射される複数の計測光を示す断面図である。
【図５】図５（ａ）から図５（ｃ）のそれぞれは、計測対象物の表面に複数の計測光が形成するスポットを示す平面図である。
【図６】図６（ａ）から図６（ｅ）のそれぞれは、ワーク上のある領域に加工光を照射し且つ造形材料を供給した場合の様子を示す断面図である。
【図７】図７（ａ）から図７（ｃ）のそれぞれは、３次元構造物を形成する過程を示す断面図である。
【図８】図８は、材料ノズルと造形面との間の距離（集中領域と造形面との間の距離）が基準距離となるように位置している材料ノズルを示す断面図である。
【図９】図９は、材料ノズルと造形面との間の距離（集中領域と造形面との間の距離）が基準距離よりも長くなるように位置している材料ノズルを示す断面図である。
【図１０】図１０は、材料ノズルと造形面との間の距離（集中領域と造形面との間の距離）が基準距離よりも短くなるように位置している材料ノズルを示す断面図である。
【図１１】図１１は、造形物の高さ（造形量）と、材料ノズル及び造形面の間の距離（集中領域と造形面との間の距離）との間の関係を示すグラフである。
【図１２】図１２は、凹凸のある表面を有する構造層の上に形成される新たな構造層を、その造形量と共に示す。
【図１３】図１３（ａ）及び図１３（ｂ）のそれぞれは、造形面上に構造層を形成する期間中に当該造形面の高さに関する情報を取得するための計測光を示す断面図である。してもよい。
【図１４】図１４（ａ）及び図１４（ｂ）のそれぞれは、構造層を形成する期間中に、当該構造層の高さに関する情報を取得するための計測光を示す断面図である。
【図１５】図１５は、造形面ＭＳ上の複数の異なる位置に照射される計測光を示す平面図である。
【図１６】図１６は、第２実施形態の加工システムのシステム構成を示すシステム構成図である。
【図１７】図１７は、ディスプレイが表示する画像の一例を示す平面図である。
【図１８】図１８（ａ）は、Ｘ軸及びＹ軸の少なくとも一方に沿った回転軸廻りに回転する前の材料ノズルを示す断面図であり、図１８（ｂ）は、Ｘ軸及びＹ軸の少なくとも一方に沿った回転軸廻りに回転した後の材料ノズルを示す断面図である。
【図１９】図１９は、第４実施形態の加工システムのシステム構成を示すシステム構成図である。
【図２０】図２０は、造形物の高さ（造形量）と材料ノズルからの造形材料の供給量との間の関係を示すグラフである。
【図２１】図２１は、凹凸のある表面を有する構造層の上に形成される新たな構造層を、その造形量と共に示す。
【図２２】図２２は、第５実施形態の加工システムの構造を示す断面図である。
【図２３】図２３は、第５実施形態の加工システムのシステム構成を示すシステム構成図である。
【図２４】図２４は、第６実施形態の加工システムの構造を示す断面図である。
【図２５】図２５は、造形物の高さ（造形量）と、材料ノズル及び造形面の間の距離との間の関係を示すグラフである。
【図２６】図２６は、凹凸のある表面を有する構造層の上に形成される新たな構造層を、その造形量と共に示す。
【図２７】図２７は、第７実施形態の加工システムのシステム構成を示すシステム構成図

である。
【図２８】図２８は、造形面と加工光の収斂位置との間の距離に相当するデフォーカス量を示す断面図である。
【図２９】図２９は、造形物の高さ（造形量）とデフォーカス量との間の関係を示すグラフである。
【図３０】図３０は、凹凸のある表面を有する構造層の上に形成される新たな構造層を、その造形量と共に示す。
【図３１】図３１は、第８実施形態の加工システムのシステム構成を示すシステム構成図である。
【図３２】図３２は、一部が欠損、破損又は摩耗した物体（図３２に示す例では、配管）に相当するワークを示す斜視図である。
【図３３】図３３は、欠損、破損又は摩耗していない元の物体Ｗ２（図３３に示す例では、配管）を示す斜視図である。
【図３４】図３４は、図３２に示す物体の３次元形状と図３３に示す元の物体の３次元形状との差分を算出することで算出された付加加工によって形成するべき３次元構造物ＳＴの３次元形状（つまり、欠損、破損又は摩耗した部分の３次元形状）を示す斜視図である。
【図３５】図３５は、欠損、破損又は摩耗した部分が、付加加工によって新たに形成された３次元構造物によって補われた物体を示す斜視図である。
【図３６】図３６は、欠損、破損又は摩耗した部位を加工（図３６に示す例では、除去加工）した物体に相当するワークを示す斜視図である。
【図３７】図３７は、欠損、破損又は摩耗した部分が除去加工された部分が、付加加工によって新たに形成された３次元構造物によって補われた物体を示す斜視図である。
【図３８】図３８は、欠損、破損又は摩耗した部分が除去加工された部分が、付加加工によって新たに形成された３次元構造物によって補われるとともに、新たな構造が付加された物体を示す斜視図である。
【発明を実施するための形態】
【００１９】
以下、図面を参照しながら、加工システムの一実施形態である加工システムＳＹＳについて説明する。本実施形態の加工システムＳＹＳは、付加加工を行うことで３次元構造物ＳＴを形成可能な加工システムである。加工システムＳＹＳは、例えば、レーザ肉盛溶接法（ＬＭＤ：Ｌａｓｅｒ　Ｍｅｔａｌ　Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）に基づく付加加工を行うことで３次元構造物ＳＴを形成可能である。尚、レーザ肉盛溶接法（ＬＭＤ）は、ダイレクト・メタル・デポジション、ダイレクト・エナジー・デポジション、レーザクラッディング、レーザ・エンジニアード・ネット・シェイピング、ダイレクト・ライト・ファブリケーション、レーザ・コンソリデーション、シェイプ・デポジション・マニュファクチャリング、ワイヤ－フィード・レーザ・デポジション、ガス・スルー・ワイヤ、レーザ・パウダー・フージョン、レーザ・メタル・フォーミング、セレクティブ・レーザ・パウダー・リメルティング、レーザ・ダイレクト・キャスティング、レーザ・パウダー・デポジション、レーザ・アディティブ・マニュファクチャリング、レーザ・ラピッド・フォーミングと称してもよい。
【００２０】
以下の説明では、互いに直交するＸ軸、Ｙ軸及びＺ軸から定義されるＸＹＺ直交座標系を用いて、加工システムＳＹＳを構成する各種構成要素の位置関係について説明する。尚、以下の説明では、説明の便宜上、Ｘ軸方向及びＹ軸方向のそれぞれが水平方向（つまり、水平面内の所定方向）であり、Ｚ軸方向が鉛直方向（つまり、水平面に直交する方向であり、実質的には上下方向或いは重力方向）であるものとする。また、Ｘ軸、Ｙ軸及びＺ軸周りの回転方向（言い換えれば、傾斜方向）を、それぞれ、θＸ方向、θＹ方向及びθＺ方向と称する。ここで、Ｚ軸方向を重力方向としてもよい。また、ＸＹ平面を水平方向としてもよい。
【００２１】

（１）第１実施形態の加工システムＳＹＳの構造

初めに、第１実施形態の加工システムＳＹＳ（以降、“加工システムＳＹＳａ”と称する）について説明する。

【００２２】

（１－１）加工システムＳＹＳａの構造

初めに、図１及び図２を参照しながら、第１実施形態の加工システムＳＹＳａの構造について説明する。図１は、第１実施形態の加工システムＳＹＳａの構造の一例を示す断面図である。図２は、第１実施形態の加工システムＳＹＳａのシステム構成の一例を示すシステム構成図である。

【００２３】

加工システムＳＹＳａは、３次元構造物（つまり、３次元方向のいずれの方向においても大きさ（サイズ）を持つ３次元の物体であり、立体物、言い換えると、Ｘ軸方向、Ｙ軸方向及びＺ軸方向において大きさ（サイズ）を持つ物体）ＳＴを形成するための造形動作を行うことが可能である。加工システムＳＹＳａは、３次元構造物ＳＴを形成するための基礎（つまり、母材）となるワークＷ上に、３次元構造物ＳＴを形成可能である。加工システムＳＹＳａは、ワークＷに付加加工を行うことで、３次元構造物ＳＴを形成可能である。ワークＷが後述するステージ３１である場合には、加工システムＳＹＳａは、ステージ３１上に、３次元構造物ＳＴを形成可能である。ワークＷがステージ３１に載置されている（或いは、ステージ３１に載置されている）既存構造物である場合には、加工システムＳＹＳａは、既存構造物上に、３次元構造物ＳＴを形成可能であってもよい。この場合、加工システムＳＹＳａは、既存構造物と一体化された３次元構造物ＳＴを形成してもよい。既存構造物と一体化された３次元構造物ＳＴを形成する動作は、既存構造物に新たな構造物を付加する動作と等価とみなせる。尚、既存構造物は例えば欠損箇所がある要修理品であってもよい。加工システムＳＹＳａは、要修理品の欠損箇所を埋めるように、要修理品に３次元構造物ＳＴを形成してもよい。或いは、加工システムＳＹＳａは、既存構造物と分離可能な３次元構造物ＳＴを形成してもよい。尚、図１は、ワークＷが、ステージ３１によって保持されている既存構造物である例を示している。また、以下でも、ワークＷがステージ３１によって保持されている既存構造物である例を用いて説明を進める。

【００２４】

上述したように、加工システムＳＹＳａは、レーザ肉盛溶接法により３次元構造物ＳＴを形成可能である。つまり、加工システムＳＹＳａは、積層造形技術を用いて物体を形成する３Ｄプリンタであるとも言える。尚、積層造形技術は、ラピッドプロトタイピング（Ｒａｐｉｄ　Ｐｒｏｔｏｔｙｐｉｎｇ）、ラピッドマニュファクチャリング（Ｒａｐｉｄ　Ｍａｎｕｆａｃｔｕｒｉｎｇ）、又は、アディティブマニュファクチャリング（Ａｄｄｉｔｉｖｅ　Ｍａｎｕｆａｃｔｕｒｉｎｇ）とも称されてもよい。

【００２５】

加工システムＳＹＳａは、造形材料Ｍを加工光ＥＬで加工して３次元構造物ＳＴを形成する。造形材料Ｍは、所定強度以上の加工光ＥＬの照射によって溶融可能な材料である。このような造形材料Ｍとして、例えば、金属性の材料及び樹脂性の材料の少なくとも一方が使用可能である。但し、造形材料Ｍとして、金属性の材料及び樹脂性の材料とは異なるその他の材料が用いられてもよい。造形材料Ｍは、粉状の又は粒状の材料である。つまり、造形材料Ｍは、粉粒体である。但し、造形材料Ｍは、粉粒体でなくてもよい。例えば、造形材料Ｍとして、ワイヤ状の造形材料及びガス状の造形材料の少なくとも一方が用いられてもよい。

【００２６】

３次元構造物ＳＴを形成するための造形動作を行うために、加工システムＳＹＳａは、図１及び図２に示すように、材料供給源１と、加工装置２と、ステージ装置３と、光源４と、気体供給装置５と、筐体６と、計測装置７と、制御装置８とを備える。加工装置２とステージ装置３と計測装置７とのそれぞれの少なくとも一部は、筐体６の内部のチャンバ空間６３ＩＮ内に収容されている。

【００２７】
材料供給源１は、加工装置２に造形材料Ｍを供給する。材料供給源１は、３次元構造物ＳＴを形成するために単位時間あたりに必要とする分量の造形材料Ｍが加工装置２に供給されるように、当該必要な分量に応じた所望量の造形材料Ｍを供給する。
【００２８】
加工装置２は、材料供給源１から供給される造形材料Ｍを加工して３次元構造物ＳＴを形成する。３次元構造物ＳＴを形成するために、加工装置２は、加工ヘッド２１と、ヘッド駆動系２２と、ノズル駆動系２３とを備える。更に、加工ヘッド２１は、照射光学系（照射系）２１１と、材料ノズル（つまり造形材料Ｍを供給する供給系であり、材料供給部材と称されてもよい）２１２と、ヘッド筐体２１３とを備えている。加工ヘッド２１と、ヘッド駆動系２２と、ノズル駆動系２３とは、チャンバ空間６３ＩＮ内に収容されている。但し、加工ヘッド２１、ヘッド駆動系２２及び／又はノズル駆動系２３の少なくとも一部が、筐体６の外部の空間である外部空間６４ＯＵＴに配置されていてもよい。尚、外部空間６４ＯＵＴは、加工システムＳＹＳａのオペレータが立ち入り可能な空間であってもよい。
【００２９】
照射光学系２１１は、加工光ＥＬを射出するための光学系である。具体的には、照射光学系２１１は、加工光ＥＬを発する光源４と、光ファイバ及びライトパイプ等の少なくとも一つを含む光伝送部材４１を介して光学的に接続されている。照射光学系２１１は、光伝送部材４１を介して光源４から伝搬してくる加工光ＥＬを射出する。より具体的には、照射光学系２１１は、照射光学系２１１が備える最終光学要素（言い換えれば、終端光学素子）２１１２から、加工光ＥＬを射出する。最終光学要素２１１２は、照射光学系２１１が備える、最もワークＷに近い（図１に示す例では、最も－Ｚ側に位置する）光学要素（つまり、光学部材）である。照射光学系２１１は、照射光学系２１１から下方（つまり、－Ｚ側）に向けて加工光ＥＬを照射する。このため、照射光学系２１１の光軸ＡＸは、Ｚ軸に沿った軸であってもよい。照射光学系２１１の下方には、ステージ３１が配置されている。ステージ３１にワークＷが載置されている場合には、照射光学系２１１は、物体であるワークＷに加工光ＥＬを照射する。具体的には、照射光学系２１１は、加工光ＥＬが照射される（典型的には、集光される）領域としてワークＷ上に又はワークＷの近傍に設定される目標照射領域ＥＡに加工光ＥＬを照射可能である。つまり、照射光学系２１１は、目標照射領域ＥＡが設定された位置に加工光ＥＬを照射する。更に、照射光学系２１１の状態は、制御装置８の制御下で、目標照射領域ＥＡに加工光ＥＬを照射する状態と、目標照射領域ＥＡに加工光ＥＬを照射しない状態との間で切替可能である。尚、照射光学系２１１から射出される加工光ＥＬの方向は真下（つまり、－Ｚ軸方向と一致）には限定されず、例えば、Ｚ軸に対して所定の角度だけ傾いた方向であってもよい。
【００３０】
照射光学系２１１は、ヘッド筐体２１３に収容されている。照射光学系２１１は、少なくとも加工光ＥＬが射出される射出口２１１１がヘッド筐体２１３の外部に露出するように、ヘッド筐体２１３に収容されている。
【００３１】
ヘッド筐体２１３には、材料ノズル２１２が取り付けられている。第１実施形態では、ヘッド筐体２１３には、三つの材料ノズル２１２（但し、図１では、二つの材料ノズル２１２のみが図示されている）が取り付けられている。三つの材料ノズル２１２は、照射光学系２１１の光軸ＡＸを取り囲むように、ヘッド筐体２１３に取り付けられている。但し、ヘッド筐体２１３には、二つ以下又は四つ以上の材料ノズル２１２が取り付けられていてもよい。
【００３２】
材料ノズル２１２には、材料供給口２１２１が形成されている。材料ノズル２１２は、材料供給口２１２１から造形材料Ｍを供給する（例えば、射出する、噴射する、噴出する、又は、吹き付ける）。材料ノズル２１２は、供給管１１及び混合装置１２を介して造形

材料Ｍの供給源である材料供給源１と物理的に接続されている。材料ノズル２１２は、供給管１１及び混合装置１２を介して材料供給源１から供給される造形材料Ｍを供給する。材料ノズル２１２は、供給管１１を介して材料供給源１から供給される造形材料Ｍを圧送してもよい。即ち、材料供給源１からの造形材料Ｍと搬送用の気体（つまり、圧送ガスであり、例えば、窒素及びアルゴン等の少なくとも一つを含む不活性ガス）とは、混合装置１２で混合された後に供給管１１を介して材料ノズル２１２に圧送されてもよい。その結果、材料ノズル２１２は、搬送用の気体と共に造形材料Ｍを供給する。搬送用の気体として、例えば、気体供給装置５から供給されるパージガスが用いられる。但し、搬送用の気体として、気体供給装置５とは異なる気体供給装置から供給される気体が用いられてもよい。尚、図１において材料ノズル２１２は、チューブ状に描かれているが、材料ノズル２１２の形状は、この形状に限定されない。

【００３３】

三つの材料ノズル２１２の材料供給口２１２１は、下方を向いている。三つの材料ノズル２１２の材料供給口２１２１は、それぞれ異なる方向を向いている。例えば、第１の材料ノズル２１２の材料供給口２１２１は、第１の方向を向いており、第２の材料ノズル２１２の材料供給口２１２１は、第２の方向を向いており、第３の材料ノズル２１２の材料供給口２１２１は、第３の方向を向いていてもよい。三つの材料ノズル２１２は、材料ノズル２１２から供給される造形材料Ｍの供給経路を示す断面図である図３に示すように、それぞれ異なる方向を向いている三つの材料供給口２１２１からの造形材料Ｍの供給経路が集中領域ＣＰにおいて交差するように位置合わせされている。つまり、三つの材料ノズル２１２は、それぞれ異なる方向を向いている三つの材料供給口２１２１から供給される造形材料Ｍが集中領域ＣＰに向かって供給されるように位置合わせされている。

【００３４】

図３に示す例では、集中領域ＣＰは、ワークＷの表面（特に、上面、以下この段落において同じ）の下方（つまり、ワークＷの表面から－Ｚ側に離れた位置）に位置している。つまり、本実施形態では、加工システムＳＹＳａは、材料ノズル２１２から供給される造形材料Ｍが集中領域ＣＰに実際に到達する前にワークＷの表面（或いは、後述する造形面ＭＳ）に到達する状態で、ワークＷを加工するものとする。本実施形態では、加工システムＳＹＳａは、集中領域ＣＰがワークＷの表面（或いは、後述する造形面ＭＳ）よりも下方に位置する（つまり、集中領域ＣＰと材料ノズル２１２との間に造形面ＭＳが位置する）状態で、ワークＷを加工するものとする。但し、集中領域ＣＰは、ワークＷの表面に位置していてもよい。つまり、加工システムＳＹＳａは、材料ノズル２１２から供給される造形材料Ｍが集中領域ＣＰに到達すると同時にワークＷの表面（或いは、後述する造形面ＭＳ）に到達する状態で、ワークＷを加工してもよい。本実施形態では、加工システムＳＹＳａは、集中領域ＣＰがワークＷの表面（或いは、後述する造形面ＭＳ）に位置する状態で、ワークＷを加工してもよい。或いは、集中領域ＣＰは、ワークＷの表面の上方（つまり、ワークＷの表面から＋Ｚ側に離れた位置）に位置していてもよい。つまり、加工システムＳＹＳａは、材料ノズル２１２から供給される造形材料Ｍが集中領域ＣＰに実際に到達した後に造形面ＭＳに到達する状態で、ワークＷを加工してもよい。つまり、本実施形態では、加工システムＳＹＳａは、集中領域ＣＰが造形面ＭＳよりも上方に位置する（つまり、造形面ＭＳと材料ノズル２１２との間に集中領域ＣＰが位置する）状態で、ワークＷを加工してもよい。

【００３５】

材料ノズル２１２は、材料ノズル２１２から下方（つまり、－Ｚ側）に向けて造形材料Ｍを供給する。材料ノズル２１２の下方には、ステージ３１が配置されている。ステージ３１にワークＷが搭載されている場合には、材料ノズル２１２は、ワークＷ又はワークＷの近傍に向けて造形材料Ｍを供給する。尚、材料ノズル２１２から供給される造形材料Ｍの進行方向はＺ軸方向に対して所定の角度（一例として鋭角）だけ傾いた方向であるが、－Ｚ側（つまり、真下）であってもよい。

【００３６】

尚、加工システムＳＹＳａは、三つの材料ノズル２１２の材料供給口２１２１から、同じ種類の造形材料Ｍを供給してもよい。加工システムＳＹＳａは、三つの材料ノズル２１２の材料供給口２１２１、それぞれ、互いに異なる種類の造形材料Ｍを供給してもよい。

【００３７】

材料ノズル２１２から供給された造形材料Ｍには、照射光学系２１１が射出した加工光ＥＬが照射される。その結果、造形材料Ｍが溶融する。加工システムＳＹＳａは、溶融した造形材料Ｍを用いてワークＷを付加加工する。

【００３８】

ヘッド駆動系２２は、加工ヘッド２１（具体的には、ヘッド筐体２１３）を移動させる（つまり、動かす）。このため、ヘッド駆動系２２は、移動装置と称されてもよい。ヘッド駆動系２２は、例えば、Ｘ軸、Ｙ軸、Ｚ軸、θＸ方向、θＹ方向及びθＺ方向の少なくとも一つに沿ってヘッド筐体２１３を移動させる。ヘッド筐体２１３には照射光学系２１１が収容されており且つ材料ノズル２１２が取り付けられているため、ヘッド駆動系２２がヘッド筐体２１３を移動させると、照射光学系２１１及び材料ノズル２１２もまた移動する。このため、ヘッド駆動系２２は、照射光学系２１１及び材料ノズル２１２を同時に移動させる駆動系であるとみなしてもよい。

【００３９】

ノズル駆動系２３は、材料ノズル２１２を移動させる（つまり、動かす）。一方で、ノズル駆動系２３は、照射光学系２１１を移動させない。つまり、ノズル駆動系２３は、照射光学系２１１に対して材料ノズル２１２を移動させる。ノズル駆動系２３は、照射光学系２１１とは別に材料ノズル２１２を移動させる。ノズル駆動系２３は、照射光学系２１１から独立して材料ノズル２１２を移動させる。このため、ノズル駆動系２３は、照射光学系２１１を移動させることなく材料ノズル２１２を移動させることができるという点で、照射光学系２１１及び材料ノズル２１２を同時に移動させるヘッド駆動系２２とは異なる。ノズル駆動系２３が材料ノズル２１２を移動させるため、材料ノズル２１２は、ヘッド筐体２１３に対して移動可能に取り付けられている。

【００４０】

ノズル駆動系２３は、例えば、Ｘ軸、Ｙ軸、Ｚ軸、θＸ方向、θＹ方向及びθＺ方向の少なくとも一つに沿って材料ノズル２１２を移動させる。第１実施形態では、ノズル駆動系２３は、Ｚ軸に沿って材料ノズル２１２を移動させる。Ｚ軸に沿って材料ノズル２１２が移動すると、材料ノズル２１２とワークＷの上面との間の距離（具体的には、Ｚ軸に沿った距離）が変わる。このため、ノズル駆動系２３は、材料ノズル２１２とワークＷの上面との間の距離を変更する距離変更装置として機能しているとみなしてもよい。更に、材料ノズル２１２とワークＷの上面との間の距離が変わると、材料ノズル２１２から供給される造形材料Ｍが集中する集中領域ＣＰとワークＷの上面との間の距離（具体的には、Ｚ軸に沿った距離）が変わる。このため、ノズル駆動系２３は、集中領域ＣＰを変更する（具体的には、集中領域ＣＰの位置を変更する、言い換えれば、集中領域ＣＰとワークＷの上面との間の距離を変更する）集中領域変更装置として機能しているとみなしてもよい。尚、集中領域ＣＰを集中空間と称してもよい。また、Ｚ軸に沿って材料ノズル２１２が移動すると、材料ノズル２１２と照射光学系２１１（特に、最終光学要素２１１２）との相対位置（例えば、Ｚ軸に沿った相対位置）が変わる。このため、ノズル駆動系２３は、材料ノズル２１２と照射光学系２１１（特に、最終光学要素２１１２）との相対位置を変更する装置として機能しているとみなしてもよい。

【００４１】

加工ヘッド２１が複数の材料ノズル２１２を備えている場合には、ノズル駆動系２３は、複数の材料ノズル２１２をまとめて移動させてもよい。つまり、ノズル駆動系２３は、複数の材料ノズル２１２を同じ移動態様で移動させてもよい。或いは、ノズル駆動系２３は、複数の材料ノズル２１２の少なくとも一つを移動させる一方で、複数の材料ノズル２１２の少なくとも他の一つを移動させなくてもよい。或いは、ノズル駆動系２３は、複数の材料ノズル２１２の少なくとも一つを、第１の移動態様で移動させる一方で、複数の材

料ノズル２１２の少なくとも他の一つを、第１の移動態様とは異なる第２の移動態様で移動させてもよい。

【００４２】

ステージ装置３は、ステージ３１を備えている。ステージ３１は、チャンバ空間６３ＩＮに収容される。ステージ３１には、ワークＷが載置可能である。ステージ３１は、ステージ３１に載置されたワークＷを保持可能であってもよい。この場合、ステージ３１は、ワークＷを保持するために、機械的なチャック、静電チャック及び真空吸着チャック等の少なくとも一つを備えていてもよい。或いは、ステージ３１は、ステージ３１に載置されたワークＷを保持可能でなくてもよい。この場合、ワークＷは、クランプレスでステージ３１に載置されていてもよい。ステージ３１がチャンバ空間６３ＩＮに収容されるため、ステージ３１が支持するワークＷもまた、チャンバ空間６３ＩＮに収容される。更に、ステージ３１は、ワークＷが保持されている場合には、保持したワークＷをリリース可能である。上述した照射光学系２１１は、ステージ３１にワークＷが載置されている期間の少なくとも一部において加工光ＥＬを照射する。更に、上述した材料ノズル２１２は、ステージ３１にワークＷが載置されている期間の少なくとも一部において造形材料Ｍを供給する。

【００４３】

ステージ駆動系３２は、ステージ３１を移動させる（つまり、動かす）。ステージ駆動系３２は、例えば、Ｘ軸、Ｙ軸、Ｚ軸、θＸ方向、θＹ方向及びθＺ方向の少なくとも一つに沿ってステージ３１を移動させる。ステージ駆動系３２がステージ３１を移動させると、加工ヘッド２１とステージ３１との相対位置が変わる。

【００４４】

光源４は、例えば、赤外光、可視光及び紫外光のうちの少なくとも一つを、加工光ＥＬとして射出する。但し、加工光ＥＬとして、その他の種類の光が用いられてもよい。加工光ＥＬは、複数のパルス光（つまり、複数のパルスビーム）を含んでいてもよい。加工光ＥＬは、連続光（ＣＷ：Ｃｏｎｔｉｎｕｏｕｓ　Ｗａｖｅ）を含んでいてもよい。加工光ＥＬは、レーザ光であってもよい。この場合、光源４は、レーザ光源（例えば、レーザダイオード（ＬＤ：Ｌａｓｅｒ　Ｄｉｏｄｅ）等の半導体レーザを含んでいてもよい。レーザ光源は、ファイバ・レーザ、CO_2レーザ、ＹＡＧレーザ及びエキシマレーザ等のうちの少なくとも一つを含んでいてもよい。但し、加工光ＥＬは、レーザ光でなくてもよい。光源４は、任意の光源（例えば、ＬＥＤ（Ｌｉｇｈｔ　Ｅｍｉｔｔｉｎｇ　Ｄｉｏｄｅ）及び放電ランプ等の少なくとも一つ）を含んでいてもよい。

【００４５】

気体供給装置５は、チャンバ空間６３ＩＮをパージするためのパージガスの供給源である。パージガスは、不活性ガスを含む。不活性ガスの一例として、窒素ガス及びアルゴンガスの少なくとも一方があげられる。気体供給装置５は、筐体６の隔壁部材６１に形成された供給口６２及び気体供給装置５と供給口６２とを接続する供給管５１を介して、チャンバ空間６３ＩＮに接続されている。気体供給装置５は、供給管５１及び供給口６２を介して、チャンバ空間６３ＩＮにパージガスを供給する。その結果、チャンバ空間６３ＩＮは、パージガスによってパージされた空間となる。チャンバ空間６３ＩＮに供給されたパージガスは、隔壁部材６１に形成された不図示の排出口から排出されてもよい。尚、気体供給装置５は、不活性ガスが格納されたボンベであってもよい。不活性ガスが窒素ガスである場合には、気体供給装置５は、大気を原料として窒素ガスを発生する窒素ガス発生装置であってもよい。

【００４６】

上述したように、材料ノズル２１２がパージガスと共に造形材料Ｍを供給する場合には、気体供給装置５は、チャンバ空間６３ＩＮに加えて材料供給源１からの造形材料Ｍが供給される混合装置１２にパージガスを供給してもよい。具体的には、気体供給装置５は、気体供給装置５と混合装置１２とを接続する供給管５２を介して混合装置１２と接続されていてもよい。その結果、気体供給装置５は、供給管５２を介して、混合装置１２にパー

ジガスを供給する。この場合、材料供給源１からの造形材料Ｍは、供給管５２を介して気体供給装置５から供給されたパージガスによって、供給管１１内を通って材料ノズル２１２に向けて供給（具体的には、圧送）されてもよい。つまり、気体供給装置５は、供給管５２、混合装置１２及び供給管１１を介して、材料ノズル２１２に接続されていてもよい。その場合、材料ノズル２１２は、材料供給口２１２１から、造形材料Ｍを圧送するためのパージガスと共に造形材料Ｍを供給することになる。

【００４７】

筐体６は、筐体６の内部空間であるチャンバ空間６３ＩＮに少なくとも加工装置２及びステージ装置３のそれぞれの少なくとも一部を収容する収容装置である。筐体６は、チャンバ空間６３ＩＮを規定する隔壁部材６１を含む。隔壁部材６１は、チャンバ空間６３ＩＮと、筐体６の外部空間６４ＯＵＴとを隔てる部材である。隔壁部材６１は、その内壁面６１１を介してチャンバ空間６３ＩＮに面し、その外壁面６１２を介して外部空間６４ＯＵＴに面する。この場合、隔壁部材６１によって囲まれた空間（より具体的には、隔壁部材６１の内壁面６１１によって囲まれた空間）が、チャンバ空間６３ＩＮとなる。尚、隔壁部材６１には、開閉可能な扉が設けられていてもよい。この扉は、ワークＷをステージ３１に載置する際に開かれてもよい。扉は、ステージ３１からワークＷ及び／又は３次元構造物ＳＴを取り出す際に開かれてもよい。扉は、造形動作及び加工動作の夫々が行われている期間中には閉じられていてもよい。なお、筐体６の外部空間６４ＯＵＴからチャンバ空間６３ＩＮを視認するための観察窓（不図示）が、隔壁部材６１に形成されていてもよい。

【００４８】

計測装置７は、ステージ３１に載置された計測対象物を計測可能である。具体的には、計測装置７は、計測対象物の表面の位置を計測可能である。つまり、計測装置７は、計測対象物の表面の位置に関する情報を取得可能である。第１実施形態では特に、計測装置７は、計測対象物の表面のＺ軸方向における位置（いわゆる、高さ）を計測可能である。計測装置７は、計測対象物の表面のＺ軸方向における位置（いわゆる、高さ）に関する情報を取得可能である。計測対象物の一例として、ワークＷがあげられる。計測対象物の一例として、ワークＷに形成された３次元構造物ＳＴがあげられる。計測対象物の一例として、形成途中の３次元構造物ＳＴ（つまり、３次元構造物ＳＴの一部を構成する造形物）があげられる。

【００４９】

計測装置７は、チャンバ空間６３ＩＮを規定する隔壁部材６１に取り付けられていてもよい。計測装置７は、隔壁部材６１とは独立したチャンバ空間６３ＩＮ内の構造体に取り付けられていてもよい。計測装置７は、ヘッド筐体２１３に取り付けられていてもよい。計測装置７がヘッド筐体２１３に取り付けられている場合には、計測装置７は、照射光学系２１１（例えば、その最終光学要素２１１２）に対して固定された位置に配置されていると言える。このように計測装置７がヘッド筐体２１３に取り付けられている場合、上述したノズル駆動系２３によって材料ノズル２１２がＺ軸に沿って移動すると、計測装置７に対する材料ノズル２１２の位置が変わる。つまり、計測装置７と材料ノズル２１２との相対位置は、可変であってもよい。

【００５０】

計測装置７は、計測対象物の位置を計測可能である限りは、どのような種類の計測装置であってもよい。例えば、計測装置７は、計測対象物を３次元計測可能な３Ｄスキャナを備えていてもよい。例えば、計測装置７は、計測対象物を３次元計測可能なステレオカメラを備えていてもよい。例えば、計測装置７は、ワークＷに加工光ＥＬを照射するための照射光学系２１１を介して計測対象物に計測光を照射し、計測対象物からの計測光の戻り光（例えば、反射光及び散乱光の少なくとも一つ）を、照射光学系２１１を介して検出する（つまり、受光する）ことで計測対象物を計測可能な計測装置を備えていてもよい。例えば、計測装置７は、計測対象物に計測光を照射し、計測対象物からの計測光の戻り光（例えば、反射光及び散乱光の少なくとも一つ）を検出する（つまり、受光する）ことで計

測対象物を計測可能な計測装置を備えていてもよい。例えば、計測装置７は、計測対象物から任意の光（例えば、環境光の反射光及び散乱光の少なくとも一つ）を検出する（つまり、受光する）ことで計測対象物を計測可能な計測装置を備えていてもよい。例えば、計測対象物がワークＷである場合には、計測装置７は、ワークＷから任意の光（例えば、環境光の反射光、環境光の散乱光及び後述する溶融池ＭＰからの光の少なくとも一つ）を検出する（つまり、受光する）ことで計測対象物を計測可能な計測装置を備えていてもよい。図１及び図２に示す例では、計測装置７は、計測対象物の表面に複数の計測光計測光ＧＬを照射し、計測対象物の表面で複数の計測光ＧＬがそれぞれ形成する複数のスポットの状態に基づいて、計測対象物の位置を計測する。この場合、計測装置７は、複数の計測光射出装置７１と、撮像装置７２とを備えていてもよい。

【００５１】

複数の計測光射出装置７１は、ヘッド筐体２１３に取り付けられている。つまり、複数の計測光射出装置７１は、ヘッド筐体２１３に収容されている照射光学系２１１（特に、その最終光学要素２１１２）に対して固定された位置に配置されていてもよい。この場合、上述したノズル駆動系２３によって材料ノズル２１２がＺ軸に沿って移動すると、各計測光射出装置７１に対する材料ノズル２１２の位置が変わる。つまり、各計測光射出装置７１と材料ノズル２１２との相対位置は、可変であってもよい。各計測光射出装置７１は、ステージ３１に載置された計測対象物に向けて計測光ＧＬを射出する。つまり、各計測光射出装置７１は、加工ヘッド２１から下方に向けて計測光ＧＬを射出する。複数の計測光射出装置７１は、複数の計測光ＧＬが加工ヘッド２１の下方のある位置において交差するように位置合わせされている。尚、計測光射出装置７１は、計測対象物に計測光ＧＬを照射するため、照射装置又は計測光照射装置と称されてもよい。

【００５２】

撮像装置７２は、計測対象物からの光（例えば、複数の計測光ＧＬの戻り光）を受光する光学要素である受光素子７２１（言い換えれば、撮像素子）を用いて、計測対象物の表面で複数の計測光ＧＬがそれぞれ形成する複数のスポットを撮像する。複数のスポットの状態は、計測対象物の表面の位置（高さ）に応じて変わる。具体的には、図４に示すように、高さが異なる複数の表面ＣＳ（図４に示す例では、三つの表面ＣＳ＃１、ＣＳ＃２及びＣＳ＃３）を備える計測対象物に複数の計測光ＧＬが照射された例を想定する。この場合、表面ＣＳ＃１における複数のスポットの状態（図５（ａ）参照）と、表面ＣＳ＃２における複数のスポットの状態（図５（ｂ）参照）と、表面ＣＳ＃３における複数のスポットの状態（図５（ｃ）参照）とは互いに異なる。具体的には、図５（ａ）から図５（ｃ）に示すように、複数のスポットの位置関係が異なる。例えば、図５（ａ）から図５（ｃ）に示す例では、複数の計測光ＧＬは、表面ＣＳ＃１において交差する。この場合、図５（ａ）に示すように、複数のスポットが重なり合うことで、表面ＣＳ＃１には、実質的に一つのスポットが形成される。一方で、複数の計測光ＧＬが表面ＣＳ＃１において交差する場合には、表面ＣＳ＃１とは異なる高さに位置する表面ＣＳ＃２及びＣＳ＃３では、複数の計測光ＧＬが交差することはない。その結果、図５（ｂ）から図５（ｃ）に示すように、表面ＣＳ＃２及びＣＳ＃３のそれぞれには、複数のスポットが形成される。更に、複数のスポットの間の距離は、表面ＣＳ＃１を基準とする表面ＣＳの高さが高くなるほど長くなる。図５（ａ）から図５（ｃ）に示す例では、表面ＣＳ＃３に形成される複数のスポットの間の距離は、表面ＣＳ＃３よりも低い表面ＣＳ＃２に形成される複数のスポットの間の距離よりも長くなる。このため、撮像装置７２が撮像した複数のスポットの状態（特に、位置関係）を示す画像は、計測対象物の表面の位置（高さ）に関する情報を含んでいる。従って、制御装置８は、撮像装置７２が撮像した画像に基づいて、計測対象物の表面の高さを算出することができる。例えば、制御装置８は、撮像装置７２が撮像した画像に基づいて、計測対象物の高さを算出してもよい。この場合、撮像装置７２が撮像した複数のスポットの状態を示す画像は、計測対象物の位置（高さ）に関する情報を含んでいるとみなしてもよい。例えば、制御装置８は、撮像装置７２が撮像した画像に基づいて、計測対象物の理想的な高さ（例えば、基準となる表面ＣＳ＃１の高さ）を算出してもよい。この

場合、撮像装置７２が撮像した複数のスポットの状態を示す画像は、計測対象物の理想的な高さに関する情報を含んでいるとみなしてもよい。例えば、制御装置８は、撮像装置７２が撮像した画像に基づいて、計測対象物の理想的な高さ（例えば、基準となる表面ＣＳ＃１の高さ）と計測対象物の実際の高さ（例えば、表面ＣＳ＃２又は＃３の高さ）との差を算出してもよい。この場合、撮像装置７２が撮像した複数のスポットの状態を示す画像は、計測対象物の理想的な高さ（例えば、基準となる表面ＣＳ＃１の高さ）と計測対象物の実際の高さ（例えば、表面ＣＳ＃２又は＃３の高さ）との差に関する情報を含んでいるとみなしてもよい。

【００５３】

撮像装置７２は、ヘッド筐体２１３に取り付けられていてもよい。つまり、撮像装置７２は、ヘッド筐体２１３に収容されている照射光学系２１１（特に、その最終光学要素２１１２）に対して固定された位置に配置されていてもよい。この場合、上述したノズル駆動系２３によって材料ノズル２１２がＺ軸に沿って移動すると、撮像装置７２（例えば、その受光素子７２１）に対する材料ノズル２１２の位置が変わる。つまり、撮像装置７２（例えば、その受光素子７２１）と材料ノズル２１２との相対位置は、可変であってもよい。尚、上述したように、ノズル駆動系２３によって材料ノズル２１２がＺ軸に沿って移動すると、材料ノズル２１２と照射光学系２１１（特に、最終光学要素２１１２）との相対位置が変わる。このため、材料ノズル２１２と照射光学系２１１（特に、最終光学要素２１１２）との相対位置が変化することによって、撮像装置７２（例えば、その受光素子７２１）と材料ノズル２１２との相対位置が変化するとみなしてもよい。

【００５４】

制御装置８は、加工システムＳＹＳａの動作を制御する。制御装置８は、例えば、演算装置と、記憶装置とを備えていてもよい。演算装置は、例えば、ＣＰＵ（Ｃｅｎｔｒａｌ Ｐｒｏｃｅｓｓｉｎｇ Ｕｎｉｔ）及びＧＰＵ（Ｇｒａｐｈｉｃｓ Ｐｒｏｃｅｓｓｉｎｇ Ｕｎｉｔ）の少なくとも一方を含んでいてもよい。記憶装置は、例えば、メモリを含んでいてもよい。制御装置８は、演算装置がコンピュータプログラムを実行することで、加工システムＳＹＳａの動作を制御する装置として機能する。このコンピュータプログラムは、制御装置８が行うべき後述する動作を演算装置に行わせる（つまり、実行させる）ためのコンピュータプログラムである。つまり、このコンピュータプログラムは、加工システムＳＹＳａに後述する動作を行わせるように制御装置８を機能させるためのコンピュータプログラムである。演算装置が実行するコンピュータプログラムは、制御装置８が備える記憶装置（つまり、記録媒体）に記録されていてもよいし、制御装置８に内蔵された又は制御装置８に外付け可能な任意の記憶媒体（例えば、ハードディスクや半導体メモリ）に記録されていてもよい。或いは、演算装置は、実行するべきコンピュータプログラムを、ネットワークインタフェースを介して、制御装置８の外部の装置からダウンロードしてもよい。

【００５５】

例えば、制御装置８は、照射光学系２１１による加工光ＥＬの射出態様を制御してもよい。射出態様は、例えば、加工光ＥＬの強度及び加工光ＥＬの射出タイミングの少なくとも一方を含んでいてもよい。加工光ＥＬが複数のパルス光を含む場合には、射出態様は、例えば、パルス光の発光時間、パルス光の発光周期、及び、パルス光の発光時間の長さとパルス光の発光周期との比（いわゆる、デューティ比）の少なくとも一つを含んでいてもよい。更に、制御装置８は、ヘッド駆動系２２による加工ヘッド２１の移動態様を制御してもよい。更に、制御装置８は、ノズル駆動系２３による材料ノズル２１２の移動態様を制御してもよい。制御装置８は、ステージ駆動系３２によるステージ３１の移動態様を制御してもよい。移動態様は、例えば、移動量、移動速度、移動方向及び移動タイミング（移動時期）の少なくとも一つを含んでいてもよい。更に、制御装置８は、材料ノズル２１２による造形材料Ｍの供給態様を制御してもよい。供給態様は、例えば、供給量（特に、単位時間当たりの供給量）及び供給タイミング（供給時期）の少なくとも一方を含んでいてもよい。

【００５６】
制御装置８は、加工システムＳＹＳａの内部に設けられていなくてもよい。例えば、制御装置８は、加工システムＳＹＳａ外にサーバ等として設けられていてもよい。この場合、制御装置８と加工システムＳＹＳａとは、有線及び／又は無線のネットワーク（或いは、データバス及び／又は通信回線）で接続されていてもよい。有線のネットワークとして、例えばＩＥＥＥ１３９４、ＲＳ－２３２ｘ、ＲＳ－４２２、ＲＳ－４２３、ＲＳ－４８５及びＵＳＢの少なくとも一つに代表されるシリアルバス方式のインタフェースを用いるネットワークが用いられてもよい。有線のネットワークとして、パラレルバス方式のインタフェースを用いるネットワークが用いられてもよい。有線のネットワークとして、１０ＢＡＳＥ－Ｔ、１００ＢＡＳＥ－ＴＸ及び１０００ＢＡＳＥ－Ｔの少なくとも一つに代表されるイーサネット（登録商標）に準拠したインタフェースを用いるネットワークが用いられてもよい。無線のネットワークとして、電波を用いたネットワークが用いられてもよい。電波を用いたネットワークの一例として、ＩＥＥＥ８０２．１ｘに準拠したネットワーク（例えば、無線ＬＡＮ及びＢｌｕｅｔｏｏｔｈ（登録商標）の少なくとも一方）があげられる。無線のネットワークとして、赤外線を用いたネットワークが用いられてもよい。無線のネットワークとして、光通信を用いたネットワークが用いられてもよい。この場合、制御装置８と加工システムＳＹＳａとはネットワークを介して各種の情報の送受信が可能となるように構成されていてもよい。また、制御装置８は、ネットワークを介して加工システムＳＹＳａにコマンドや制御パラメータ等の情報を送信可能であってもよい。加工システムＳＹＳａは、制御装置８からのコマンドや制御パラメータ等の情報を、上記ネットワークを介して受信する受信装置を備えていてもよい。加工システムＳＹＳａは、制御装置８に対してコマンドや制御パラメータ等の情報を、上記ネットワークを介して送信する送信装置（つまり、制御装置８に対して情報を出力する出力装置）を備えていてもよい。或いは、制御装置８が行う処理のうちの一部を行う第１制御装置が加工システムＳＹＳａの内部に設けられている一方で、制御装置８が行う処理のうちの他の一部を行う第２制御装置が加工システムＳＹＳａの外部に設けられていてもよい。
【００５７】
尚、制御装置８が実行するコンピュータプログラムを記録する記録媒体としては、ＣＤ－ＲＯＭ、ＣＤ－Ｒ、ＣＤ－ＲＷやフレキシブルディスク、ＭＯ、ＤＶＤ－ＲＯＭ、ＤＶＤ－ＲＡＭ、ＤＶＤ－Ｒ、ＤＶＤ＋Ｒ、ＤＶＤ－ＲＷ、ＤＶＤ＋ＲＷ及びＢｌｕ－ｒａｙ（登録商標）等の光ディスク、磁気テープ等の磁気媒体、光磁気ディスク、ＵＳＢメモリ等の半導体メモリ、及び、その他プログラムを格納可能な任意の媒体の少なくとも一つが用いられてもよい。記録媒体には、コンピュータプログラムを記録可能な機器（例えば、コンピュータプログラムがソフトウェア及びファームウェア等の少なくとも一方の形態で実行可能な状態に実装された汎用機器又は専用機器）が含まれていてもよい。更に、コンピュータプログラムに含まれる各処理や機能は、制御装置８（つまり、コンピュータ）がコンピュータプログラムを実行することで制御装置８内に実現される論理的な処理ブロックによって実現されてもよいし、制御装置８が備える所定のゲートアレイ（ＦＰＧＡ、ＡＳＩＣ）等のハードウェアによって実現されてもよいし、論理的な処理ブロックとハードウェアの一部の要素を実現する部分的ハードウェアモジュールとが混在する形式で実現してもよい。
【００５８】
（１－２）第１実施形態の加工システムＳＹＳａの動作
続いて、加工システムＳＹＳａの動作について説明する。上述したように、加工システムＳＹＳａは、ワークＷに対して付加加工を行ことで３次元構造物ＳＴを形成するための造形動作を行う。更に、加工システムＳＹＳａは、造形動作を行う期間の少なくとも一部において、計測装置７の計測結果に基づいてノズル駆動系２３を制御することで、材料ノズル２１２を移動させるためのノズル移動動作を行う。このため、以下では、造形動作と、ノズル移動動作とについて順に説明する。
【００５９】

（１－２－１）造形動作

初めに、３次元構造物ＳＴの造形動作について説明する。上述したように、加工システムＳＹＳａは、レーザ肉盛溶接法により３次元構造物ＳＴを形成する。このため、加工システムＳＹＳａは、レーザ肉盛溶接法に準拠した既存の造形動作を行うことで、３次元構造物ＳＴを形成してもよい。以下、レーザ肉盛溶接法を用いて３次元構造物ＳＴを形成する造形動作の一例について簡単に説明する。

【００６０】

加工システムＳＹＳａは、形成するべき３次元構造物ＳＴの３次元モデルデータ（例えば、ＣＡＤ（Ｃｏｍｐｕｔｅｒ　Ａｉｄｅｄ　Ｄｅｓｉｇｎ）データ）等に基づいて、ワークＷ上に３次元構造物ＳＴを形成する。３次元モデルデータとして、加工システムＳＹＳａ内に設けられた不図示の計測装置及び加工システムＳＹＳａとは別に設けられた３次元形状計測機の少なくとも一方で計測された立体物の計測データが用いられてもよい。加工システムＳＹＳａは、３次元構造物ＳＴを形成するために、例えば、Ｚ軸方向に沿って並ぶ複数の層状の部分構造物（以下、“構造層”と称する）ＳＬを順に形成していく。例えば、加工システムＳＹＳａは、３次元構造物ＳＴのモデルをＺ軸方向に沿って輪切りにすることで得られる複数の層のデータに基づいて複数の構造層ＳＬを１層ずつ順に形成していく。その結果、複数の構造層ＳＬが積層された積層構造体である３次元構造物ＳＴが形成される。以下、複数の構造層ＳＬを１層ずつ順に形成していくことで３次元構造物ＳＴを形成する動作の流れについて説明する。

【００６１】

まず、各構造層ＳＬを形成する動作について図６（ａ）から図６（ｅ）を参照して説明する。加工システムＳＹＳａは、制御装置８の制御下で、ワークＷの表面又は形成済みの構造層ＳＬの表面に相当する造形面ＭＳ上の所望領域に目標照射領域ＥＡが設定されるように、加工ヘッド２１及びステージ３１の少なくとも一方を移動させる。その後、加工システムＳＹＳａは、目標照射領域ＥＡに対して照射光学系２１１から加工光ＥＬを照射する。この際、Ｚ軸方向において加工光ＥＬが集光される集光面は、造形面ＭＳに一致していてもよい。或いは、Ｚ軸方向において集光面は、造形面ＭＳから外れていてもよい。その結果、図６（ａ）に示すように、加工光ＥＬが照射された造形面ＭＳ上に溶融池（つまり、加工光ＥＬによって溶融した金属等のプール）ＭＰが形成される。更に、加工システムＳＹＳａは、制御装置８の制御下で、材料ノズル２１２から造形材料Ｍを供給する。その結果、溶融池ＭＰに造形材料Ｍが供給される。溶融池ＭＰに供給された造形材料Ｍは、溶融池ＭＰに照射されている加工光ＥＬによって溶融する。或いは、材料ノズル２１２から供給された造形材料Ｍは、溶融池ＭＰに到達する前に加工光ＥＬによって溶融し、溶融した造形材料Ｍが溶融池ＭＰに供給されてもよい。その後、加工ヘッド２１及びステージ３１の少なくとも一方の移動に伴って溶融池ＭＰに加工光ＥＬが照射されなくなると、溶融池ＭＰにおいて溶融した造形材料Ｍは、冷却されて固化（つまり、凝固）する。その結果、図６（ｃ）に示すように、固化した造形材料Ｍが造形面ＭＳ上に堆積される。

【００６２】

加工システムＳＹＳａは、このような加工光ＥＬの照射による溶融池ＭＰの形成、溶融池ＭＰへの造形材料Ｍの供給、供給された造形材料Ｍの溶融及び溶融した造形材料Ｍの固化を含む一連の造形処理を、図６（ｄ）に示すように、造形面ＭＳに対して加工ヘッド２１を、Ｘ軸方向及びＹ軸方向の少なくとも一方に沿って移動させながら繰り返す。この際、加工システムＳＹＳａは、造形面ＭＳ上において造形物を形成したい領域に加工光ＥＬを照射する一方で、造形面ＭＳ上において造形物を形成したくない領域に加工光ＥＬを照射しない。つまり、加工システムＳＹＳａは、造形面ＭＳ上を所定の移動軌跡に沿って目標照射領域ＥＡを移動させながら、造形物を形成したい領域の分布の態様に応じたタイミングで加工光ＥＬを造形面ＭＳに照射する。その結果、溶融池ＭＰもまた、目標照射領域ＥＡの移動軌跡に応じた移動軌跡に沿って造形面ＭＳ上を移動することになる。具体的には、溶融池ＭＰは、造形面ＭＳ上において、目標照射領域ＥＡの移動軌跡に沿った領域のうち加工光が照射された部分に順次形成される。その結果、図６（ｅ）に示すように、造

形面ＭＳ上に、溶融した後に固化した造形材料Ｍによる造形物の集合体に相当する構造層ＳＬが形成される。つまり、溶融池ＭＰの移動軌跡に応じたパターンで造形面ＭＳ上に形成された造形物の集合体に相当する構造層ＳＬ（つまり、平面視において、溶融池ＭＰの移動軌跡に応じた形状を有する構造層ＳＬ）が形成される。尚、造形物を形成したくない領域に目標照射領域ＥＡが設定されている場合、加工システムＳＹＳａは、加工光ＥＬを目標照射領域ＥＡに照射するとともに、造形材料Ｍの供給を停止してもよい。また、造形物を形成したくない領域に目標照射領域ＥＡが設定されている場合に、加工システムＳＹＳａは、造形材料Ｍを目標照射領域ＥＡに供給するとともに、溶融池ＭＰができない強度の加工光ＥＬを目標照射領域ＥＡに照射してもよい。

【００６３】

加工システムＳＹＳａは、このような構造層ＳＬを形成するための動作を、制御装置８の制御下で、３次元モデルデータに基づいて繰り返し行う。具体的には、まず、制御装置８は、構造層ＳＬを形成するための動作を行う前に、３次元モデルデータを積層ピッチでスライス処理してスライスデータを作成する。その後、制御装置８は、スライスデータに基づいて、３次元構造物ＳＴを形成するための加工システムＳＹＳａの動作内容を示すレシピ情報を生成する。レシピ情報は、例えば、ヘッド駆動系２２による加工ヘッド２１の移動経路に関する情報（いわゆる加工パス情報であり、加工光ＥＬを射出する照射光学系２１１の移動を制御するための情報）を含んでいてもよい。レシピ情報は、例えば、照射光学系２１１が加工光ＥＬを射出するタイミングに関する情報（つまり、加工光ＥＬを射出する光源４及び／又は照射光学系２１１の動作を制御するための情報）を含んでいてもよい。レシピ情報は、例えば、照射光学系２１１が射出する加工光ＥＬの強度に関する情報（つまり、加工光ＥＬを射出する光源４及び／又は照射光学系２１１の動作を制御するための情報）を含んでいてもよい。レシピ情報は、これらの情報を組み合わせた情報であってもよい。或いは、制御装置８は、レシピ情報を生成することに加えて又は代えて、加工システムＳＹＳａの外部の装置が生成したレシピ情報を取得してもよい。加工システムＳＹＳａは、ワークＷの表面に相当する造形面ＭＳ上に１層目の構造層ＳＬ＃１を形成するための動作を、構造層ＳＬ＃１に対応するレシピ情報に基づいて行う。つまり、加工システムＳＹＳａは、レシピ情報に基づいてヘッド駆動系２２を制御することで照射光学系２１１を移動させ、且つ、レシピ情報に基づいて定まる所望の強度を有する加工光ＥＬをレシピ情報に基づいて定まる所望のタイミングで射出するように照射光学系２１１を制御する。その結果、造形面ＭＳ上には、図７（ａ）に示すように、構造層ＳＬ＃１が形成される。その後、加工システムＳＹＳａは、構造層ＳＬ＃１の表面（つまり、上面）を新たな造形面ＭＳに設定した上で、当該新たな造形面ＭＳ上に２層目の構造層ＳＬ＃２を形成する。構造層ＳＬ＃２を形成するために、制御装置８は、まず、ステージ３１に対して加工ヘッド２１がＺ軸に沿って移動するように、ヘッド駆動系２２及びステージ駆動系３２の少なくとも一方を制御する。具体的には、制御装置８は、ヘッド駆動系２２及びステージ駆動系３２の少なくとも一方を制御して、目標照射領域ＥＡが構造層ＳＬ＃１の表面（つまり、新たな造形面ＭＳ）に設定されるように、＋Ｚ側に向かって加工ヘッド２１を移動させる及び／又は－Ｚ側に向かってステージ３１を移動させる。その後、加工システムＳＹＳａは、制御装置８の制御下で、構造層ＳＬ＃１を形成する動作と同様の動作で、構造層ＳＬ＃２に対応するレシピ情報に基づいて、構造層ＳＬ＃１上に構造層ＳＬ＃２を形成する。その結果、図７（ｂ）に示すように、構造層ＳＬ＃２が形成される。以降、同様の動作が、ワークＷ上に形成するべき３次元構造物ＳＴを構成する全ての構造層ＳＬが形成されるまで繰り返される。その結果、図７（ｃ）に示すように、複数の構造層ＳＬが積層された積層構造物によって、３次元構造物ＳＴが形成される。

【００６４】

（１－２－２）ノズル移動動作

続いて、ノズル移動動作について説明する。上述したように、ノズル移動動作は、上述した造形動作が行われている期間の少なくとも一部において、計測装置７の計測結果に基づいてノズル駆動系２３を制御することで、材料ノズル２１２を移動させる（つまり、計

測装置７の計測結果に基づいて材料ノズル２１２を制御する）動作である。上述したよう、材料ノズル２１２が移動すると、材料ノズル２１２とワークＷの上面との間の距離（具体的には、Ｚ軸に沿った距離）が変わる。このため、ノズル移動動作は、計測装置７の計測結果に基づいて、材料ノズル２１２とワークＷの上面との間の距離（具体的には、Ｚ軸に沿った距離）を変更する動作であるとみなしてもよい。また、上述したよう、材料ノズル２１２が移動すると、材料ノズル２１２から供給される造形材料Ｍが集中する集中領域ＣＰとワークＷの上面との間の距離（具体的には、Ｚ軸に沿った距離）及び集中領域ＣＰの位置が変わる。このため、ノズル移動動作は、計測装置７の計測結果に基づいて、集中領域ＣＰとワークＷの上面との間の距離（具体的には、Ｚ軸に沿った距離）及び集中領域ＣＰの位置を変更する動作であるとみなしてもよい。また、上述したよう、材料ノズル２１２が移動すると、材料ノズル２１２と照射光学系２１１（特に、最終光学要素２１１２）との相対位置（例えば、Ｚ軸に沿った相対位置）が変わる。このため、ノズル移動動作は、計測装置７の計測結果に基づいて、材料ノズル２１２と照射光学系２１１（特に、最終光学要素２１１２）との相対位置（例えば、Ｚ軸に沿った相対位置）を変更する動作であるとみなしてもよい。また、上述したよう、材料ノズル２１２が移動すると、計測装置７と材料ノズル２１２との相対位置（例えば、Ｚ軸に沿った相対位置）が変わる。このため、ノズル移動動作は、計測装置７の計測結果に基づいて、計測装置７と材料ノズル２１２との相対位置（例えば、Ｚ軸に沿った相対位置）を変更する動作であるとみなしてもよい。具体的には、ノズル移動動作は、計測装置７の計測結果に基づいて、複数の計測光射出装置７１のうちの少なくとも一つと材料ノズル２１２との相対位置（例えば、Ｚ軸に沿った相対位置）を変更する動作であるとみなしてもよい。ノズル移動動作は、計測装置７の計測結果に基づいて、撮像装置７２（例えば、その受光素子７２１）と材料ノズル２１２との相対位置（例えば、Ｚ軸に沿った相対位置）を変更する動作であるとみなしてもよい。

【００６５】

第１実施形態では、加工システムＳＹＳａは、制御装置８の制御下で、ノズル移動動作を行うことで、造形動作によって形成される造形物の高さを制御する。以下、ノズル移動動作を行うことで造形物の高さを制御することができる技術的理由について説明する。

【００６６】

具体的には、上述したように、ノズル駆動系２３は、Ｚ軸に沿って材料ノズル２１２を移動させる。その結果、材料ノズル２１２が移動すると、材料ノズル２１２と造形面ＭＳとの間の距離（具体的には、Ｚ軸に沿った距離）Ｄ１が変わる。尚、材料ノズル２１２と造形面ＭＳとの間の距離は、材料ノズル２１２の材料供給口２１２１と造形面ＭＳとの間の距離を意味していてもよい。更には、材料ノズル２１２がＺ軸に沿って移動すると、材料ノズル２１２から供給される造形材料Ｍが集中する集中領域ＣＰもまたＺ軸に沿って移動する。このため、ノズル駆動系２３は、材料ノズル２１２を移動させることで集中領域ＣＰを変更している（具体的には、集中領域ＣＰの位置を変更している）とも言える。その結果、集中領域ＣＰと造形面ＭＳとの間の距離（具体的には、Ｚ軸に沿った距離）Ｄ２が変わる。例えば、図８は、距離Ｄ１及びＤ２の夫々が基準距離Ｄ１０及びＤ２０となるように位置している材料ノズル２１２を示している。

【００６７】

図８に示す状態にある材料ノズル２１２が＋Ｚ側に向かって移動すると、図９に示すように、距離Ｄ１は、基準距離Ｄ１０よりも長い距離Ｄ１１に変わり、距離Ｄ２は、基準距離Ｄ２０よりも短い距離Ｄ２１に変わる。一方で、図８に示す状態にある材料ノズル２１２が－Ｚ側に向かって移動すると、図１０に示すように、距離Ｄ１は、基準距離Ｄ１０よりも短い距離Ｄ１２に変わり、距離Ｄ２は、基準距離Ｄ２０よりも長い距離Ｄ２２に変わる。

【００６８】

ここで、距離Ｄ２が短くなるほど（つまり、距離Ｄ１が長くなるほど）、溶融池ＭＰに供給される造形材料Ｍの分量が多くなる。なぜならば、距離Ｄ２が短くなるほど、造形材

料Ｍが集中する集中領域ＣＰが造形面ＭＳに近づくからである。溶融池ＭＰに供給される造形材料Ｍの分量が多くなるほど、溶融池ＭＰにおいて溶融する造形材料Ｍの分量が多くなる。溶融池ＭＰにおいて溶融する造形材料Ｍの分量が多くなるほど、造形面ＭＳで固化する造形材料Ｍの分量が多くなる。その結果、固化した造形材料Ｍによる造形物の高さ（つまり、Ｚ軸方向に沿ったサイズであり、以降、“造形量”と称する）が高くなる。このため、図１１に示すように、距離Ｄ２と造形量との間には、距離Ｄ２が短くなるほど造形量が多くなるという関係がある。つまり、距離Ｄ２と造形量との間には、距離Ｄ２が長くなるほど造形量が少なくなるという関係がある。同様に、図１１に示すように、距離Ｄ１と造形量との間には、距離Ｄ１が長くなるほど造形量が多くなるという関係がある。つまり、距離Ｄ１と造形量との間には、距離Ｄ１が短くなるほど造形量が少なくなるという関係がある。

【００６９】

尚、図１１は、集中領域ＣＰが造形面ＭＳの上方に位置する場合の距離Ｄ２を正の距離とし且つ集中領域ＣＰが造形面ＭＳの下方に位置する場合の距離Ｄ２を負の距離とするグラフを示している。上述したように、本実施形態では、加工システムＳＹＳａは、集中領域ＣＰが造形面ＭＳよりも下方に位置する（つまり、集中領域ＣＰと材料ノズル２１２との間に造形面ＭＳが位置する）状態で、ワークＷを加工する。このため、距離Ｄ２は、ゼロよりも小さい領域（使用領域と称する）の範囲の値を有する。この場合、距離Ｄ２が短くなるほど造形量が多くなるという関係は、距離Ｄ２の絶対値が小さくなるほど造形量が多くなるという関係を意味する。同様に、距離Ｄ２が長くなるほど造形量が少なくなるという関係は、距離Ｄ２の絶対値が大きくなるほど造形量が少なくなるという関係を意味する。このため、以下の説明では、特段の説明がない場合には、距離Ｄ２は、距離Ｄ２の絶対値を意味するものとする。

【００７０】

加工システムＳＹＳａは、制御装置８の制御下で、このような距離Ｄ２（更には、距離Ｄ１）と造形量との間に成立する関係を用いてノズル移動動作を行うことで、造形物の造形量を制御する。つまり、加工システムＳＹＳａは、距離Ｄ２を変更するように材料ノズル２１２を移動させることで、造形物の造形量を制御する。

【００７１】

例えば、加工システムＳＹＳａは、距離Ｄ２が基準距離Ｄ２０となる場合の造形量（以降、“基準造形量”と称する）と比較して実際の造形量を増加させたい場合には、距離Ｄ２を基準距離Ｄ２０よりも短くするように材料ノズル２１２を移動させてもよい。つまり、加工システムＳＹＳａは、距離Ｄ１が基準距離Ｄ１０となる場合の基準造形量と比較して実際の造形量を増加させたい場合には、距離Ｄ１を基準距離Ｄ１０よりも長くするように材料ノズル２１２を移動させてもよい。言い換えれば、加工システムＳＹＳａは、距離Ｄ２を基準距離Ｄ２０よりも短くする（つまり、距離Ｄ１を基準距離Ｄ１０よりも長くする）ように材料ノズル２１２を移動させることで、実際の造形量を基準造形量よりも多くしてもよい。

【００７２】

例えば、加工システムＳＹＳａは、距離Ｄ２が基準距離Ｄ２０となる場合の基準造形量と比較して実際の造形量を減少させたい場合には、距離Ｄ２を基準距離Ｄ２０よりも長くするように材料ノズル２１２を移動させてもよい。つまり、加工システムＳＹＳａは、距離Ｄ１が基準距離Ｄ１０となる場合の基準造形量と比較して実際の造形量を減少させたい場合には、距離Ｄ１を基準距離Ｄ１０よりも短くするように材料ノズル２１２を移動させてもよい。言い換えれば、加工システムＳＹＳａは、距離Ｄ２を基準距離Ｄ２０よりも長くする（つまり、距離Ｄ１を基準距離Ｄ１０よりも短くする）ように材料ノズル２１２を移動させることで、実際の造形量を基準造形量よりも少なくしてもよい。

【００７３】

尚、図９及び図１０は、複数の材料ノズル２１２が同じ方向に同じ移動量だけ移動している例を示している。つまり、図９及び図１０は、複数の材料ノズル２１２が同じ移動態

様で移動している例を示している。しかしながら、ノズル駆動系２３は、複数の材料ノズル２１２の少なくとも一つを移動させる一方で、複数の材料ノズル２１２の少なくとも他の一つを移動させなくてもよい。この場合であっても、少なくとも一つの材料ノズル２１２が移動しているがゆえに、距離Ｄ２が変わることに変わりはない。或いは、ノズル駆動系２３は、複数の材料ノズル２１２の少なくとも一つを第１の移動態様で移動させる一方で、複数の材料ノズル２１２の少なくとも他の一つを第１の移動態様とは異なる第２の移動態様で移動させてもよい。例えば、ノズル駆動系２３は、複数の材料ノズル２１２の少なくとも一つを第１の移動量だけ移動させる一方で、複数の材料ノズル２１２の少なくとも他の一つを第１の移動量とは異なる第２の移動量だけ移動させてもよい。つまり、ノズル駆動系２３は、複数の材料ノズル２１２の移動量が異なるものとなるように複数の材料ノズル２１２を移動させてもよい。この場合であっても、少なくとも一つの材料ノズル２１２が移動しているがゆえに、距離Ｄ２が変わることに変わりはない。

【００７４】

基準造形量から造形量を変化させる場面の一例として、凹凸のある造形面ＭＳ上に、平坦な表面を有する新たな構造層ＳＬを形成する場面があげられる。例えば、図１２の１段目（最も上の図）には、凹凸のある表面を有する構造層ＳＬ＃ｎ（尚、ｎは１以上の整数）が示されている。このような構造層ＳＬ＃ｎの上に新たな構造層ＳＬ＃ｎ＋１が形成される場合には、構造層ＳＬ＃ｎの表面が造形面ＭＳに設定される。その結果、造形面ＭＳは、凹凸のある面となる。図１２に示す例では、造形面ＭＳは、造形面ＭＳ＃１と、造形面ＭＳ＃１よりも高い位置（つまり、＋Ｚ側、以下同じ）に位置する造形面ＭＳ＃２と、造形面ＭＳ＃１よりも低い位置（つまり、－Ｚ側、以下同じ）に位置する造形面ＭＳ＃３と、造形面ＭＳ＃１と同じ高さに位置する造形面ＭＳ＃４とを含んでいる。この場合、新たに形成される構造層ＳＬ＃ｎ＋１の表面を平坦にするためには、加工システムＳＹＳａは、ノズル移動動作を行うことで、造形面ＭＳ＃２に形成される造形物の高さを、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４に形成される造形物の高さよりも低くし、且つ、造形面ＭＳ＃３に形成される造形物の高さを、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４に形成される造形物の高さよりも高くしてもよい。つまり、加工システムＳＹＳａは、ノズル移動動作を行うことで、造形面ＭＳ＃２における造形量を、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４における造形量よりも少なくし、造形面ＭＳ＃３における造形量を、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４における造形量よりも多くしてもよい。

【００７５】

具体的には、加工システムＳＹＳａは、図１２の２段目に示すように、造形面ＭＳ＃２に対して造形物を形成する期間中の造形面ＭＳ＃２と材料ノズル２１２との間の距離Ｄ１が、造形面ＭＳ＃１及び＃４に対して造形物を形成する期間中の造形面ＭＳ＃１及び＃４と材料ノズル２１２との間の距離Ｄ１よりも短くなるように、材料ノズル２１２を移動させてもよい。つまり、加工システムＳＹＳａは、図１２の３段目に示すように、造形面ＭＳ＃２に対して造形物を形成する期間中の造形面ＭＳ＃２と集中領域ＣＰとの間の距離Ｄ２が、造形面ＭＳ＃１及び＃４に対して造形物を形成する期間中の造形面ＭＳ＃１及び＃４と集中領域ＣＰとの間の距離Ｄ２よりも長くなるように、材料ノズル２１２を移動させてもよい。言い換えれば、加工システムＳＹＳａは造形面ＭＳ＃２に対して造形物を形成する期間中の集中領域ＣＰが、造形面ＭＳ＃１及び＃４に対して造形物を形成する期間中の集中領域ＣＰ（更には、造形面ＭＳ＃３に対して造形物を形成する期間中の集中領域ＣＰ）よりも下に位置するように、材料ノズル２１２を移動させてもよい。その結果、図１２の４段目のグラフに示すように、造形面ＭＳ＃２における造形量は、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４における造形量よりも少なくなる。

【００７６】

加工システムＳＹＳａは、図１２の２段目に示すように、造形面ＭＳ＃３に対して造形物を形成する期間中の造形面ＭＳ＃３と材料ノズル２１２との間の距離Ｄ１が、造形面ＭＳ＃１及び＃４に対して造形物を形成する期間中の造形面ＭＳ＃１及び＃４と材料ノズル２１２との間の距離Ｄ１よりも長くなるように、材料ノズル２１２を移動させてもよい。

つまり、加工システムＳＹＳａは、図１２の３段目に示すように、造形面ＭＳ＃３に対して造形物を形成する期間中の造形面ＭＳ＃３と集中領域ＣＰとの間の距離Ｄ２が、造形面ＭＳ＃１及び＃４に対して造形物を形成する期間中の造形面ＭＳ＃１及び＃４と集中領域ＣＰとの間の距離Ｄ２よりも短くなるように、材料ノズル２１２を移動させてもよい。言い換えれば、加工システムＳＹＳａは造形面ＭＳ＃３に対して造形物を形成する期間中の集中領域ＣＰが、造形面ＭＳ＃１及び＃４に対して造形物を形成する期間中の集中領域ＣＰ（更には、造形面ＭＳ＃２に対して造形物を形成する期間中の集中領域ＣＰ）よりも上に位置するように、材料ノズル２１２を移動させてもよい。その結果、図１２の４段目のグラフに示すように、造形面ＭＳ＃３における造形量は、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４における造形量よりも多くなる。

【００７７】

その結果、図１２の５段目に示すように、凹凸のある造形面ＭＳに新たに形成された構造層ＳＬ＃ｎ＋１の表面（特に、上面）は、平坦な面となる。より具体的には、凹凸のある造形面ＭＳに新たに形成された構造層ＳＬ＃ｎ＋１の表面（特に、上面）の平坦度は、ノズル移動動作が行われなかった場合に形成される構造層ＳＬ＃ｎ＋１の表面（特に、上面）の平坦度よりも大きくなる。

【００７８】

凹凸のある造形面ＭＳに新たな構造層ＳＬ＃ｎ＋１を形成する際にノズル移動動作を行う場合には、加工システムＳＹＳａは、計測装置７を用いて、造形面ＭＳ（つまり、構造層ＳＬ＃ｎの表面）の高さに関する情報を取得する。この場合、加工システムＳＹＳａは、構造層ＳＬ＃ｎ＋１を形成する期間中に、構造層ＳＬ＃ｎの表面に相当する造形面ＭＳの高さに関する情報を取得してもよい。具体的には、図１３（ａ）に示すように、加工システムＳＹＳａは、造形面ＭＳ上の第１部分ＭＳＡ＃１１に加工光ＥＬが照射されている期間中に、造形面ＭＳ上において第１部分ＭＳＡ＃１１とは異なる第２部分ＭＳＡ＃１２に計測光ＧＬを照射してもよい。第２部分ＭＳＡ＃１２は、造形動作における照射光学系２１１の移動方向（つまり、レシピ情報が定める移動方向であって、Ｘ軸方向及びＹ軸方向の少なくとも一方に沿った移動方向）において、第１部分ＭＳＡ＃１１よりも前方（つまり、溶融池ＭＰ及び目標照射領域ＥＡよりも前方）に位置する部分であってもよい。この場合、第２部分ＭＳＡ＃１２は、構造層ＳＬ＃ｎ＋１の一部を構成する造形物が第１部分ＭＳＡ＃１１に形成された後に、構造層ＳＬ＃ｎ＋１の他の一部を構成する造形物が形成される部分に相当する。その結果、加工システムＳＹＳａは、第１部分ＭＳＡ＃１１に造形物を形成しながら、後に造形物を形成する予定の第２部分ＭＳＡ＃１２の高さに関する情報を取得することができる。

【００７９】

その後、図１３（ｂ）に示すように、加工システムＳＹＳａは、第２部分ＭＳＡ＃１２に造形物を形成するために第２部分ＭＳＡ＃１２に加工光ＥＬを照射する期間中に、予め取得しておいた第２部分ＭＳＡ＃１２の高さに関する情報に基づいて、ノズル移動動作を行う。つまり、加工システムＳＹＳａは、第２部分ＭＳＡ＃１２に加工光ＥＬを照射する期間中に、第２部分ＭＳＡ＃１２における造形量が、第２部分ＭＳＡ＃１２の高さに応じて定まる所望量になるように、第２部分ＭＳＡ＃１２の高さに関する情報に基づいて材料ノズル２１２を移動させる。尚、造形面ＭＳ上の第２部分ＭＳＡ＃１２に加工光ＥＬが照射されている期間中は、加工システムＳＹＳａは、造形面ＭＳ上において第２部分ＭＳＡ＃１２とは異なる第３部分ＭＳＡ＃１３（例えば、照射光学系２１１の移動方向において第２部分ＭＳＡ＃１２よりも前方に位置する部分）に計測光ＧＬを照射してもよい。

【００８０】

或いは、加工システムＳＹＳａは、造形面ＭＳ上の第１部分ＭＳＡ＃１１に加工光ＥＬが照射されている期間中に、第１部分ＭＳＡ＃１１に計測光ＧＬを照射してもよい。つまり、加工システムＳＹＳａは、溶融池ＭＰが形成されている部分に計測光ＧＬを照射してもよい。この場合、加工システムＳＹＳａは、第１部分ＭＳＡ＃１１に加工光ＥＬを照射しながら、第１部分ＭＳＡ＃１１の高さに関する情報を取得し且つ取得した第１部分ＭＳ

Ａ＃１１の高さに関する情報に基づいて材料ノズル２１２を移動させてもよい。
【００８１】
或いは、加工システムＳＹＳａは、構造層ＳＬ＃ｎ＋１を形成する際に表面が造形面ＭＳに設定される構造層ＳＬ＃ｎを形成している期間中に、構造層ＳＬ＃ｎ＋１を形成する際に表面が造形面ＭＳに設定される構造層ＳＬ＃ｎの表面の高さに関する情報を取得してもよい。具体的には、図１４（ａ）に示すように、加工システムＳＹＳａは、構造層ＳＬ＃ｎを形成するために、構造層ＳＬ＃ｎ－１の表面に相当する造形面ＭＳに加工光ＥＬを照射する。この場合、加工システムＳＹＳａは、造形面ＭＳ上の第１部分ＭＳＡ＃２１に加工光ＥＬが照射されている期間中に、造形面ＭＳ上において第１部分ＭＳＡ＃２１とは異なる第２部分ＭＳＡ＃２２に構造層ＳＬ＃ｎの一部として形成済みの造形物ＳＭ＃２２に計測光ＧＬを照射してもよい。第２部分ＭＳＡ＃２２は、造形動作における照射光学系２１１の移動方向において、第１部分ＭＳＡ＃２１よりも後方（つまり、溶融池ＭＰ及び目標照射領域ＥＡよりも後方）に位置する部分であってもよい。この場合、第２部分ＭＳＡ＃２２は、構造層ＳＬ＃ｎの一部を構成する造形物が第１部分ＭＳＡ＃２１に形成される前に、構造層ＳＬ＃ｎの他の一部を構成する造形物ＳＭ＃２２が形成済みとなっている部分に相当する。その結果、加工システムＳＹＳａは、第１部分ＭＳＡ＃２１に造形物を形成しながら、後に構造層ＳＬ＃ｎ＋１を形成する際に造形面ＭＳとなる予定の造形物ＳＭ＃２２の高さに関する情報を取得することができる。
【００８２】
その後、図１４（ｂ）に示すように、加工システムＳＹＳａは、構造層ＳＬ＃ｎの形成を完了した後に、構造層ＳＬ＃ｎの表面を新たな造形面ＭＳに設定した上で構造層ＳＬ＃ｎ＋１の形成を開始する。この場合、加工システムＳＹＳａは、新たな造形面ＭＳのうちの造形物ＳＭ＃２２の表面に相当する第３部分ＭＳＡ＃２３に造形物を形成するために第３部分ＭＳＡ＃２３に加工光ＥＬを照射する期間中に、予め取得しておいた造形物ＳＭ＃２２の高さに関する情報（つまり、第３部分ＭＳＡ＃２３の高さに関する情報）に基づいて、ノズル移動動作を行う。つまり、加工システムＳＹＳａは、第３部分ＭＳＡ＃２３に加工光ＥＬを照射する場合に、第３部分ＭＳＡ＃２３における造形量が、第３部分ＭＳＡ＃２３の高さに応じて定まる所望量になるように、第３部分ＭＳＡ＃２３の高さに関する情報に基づいて材料ノズル２１２を移動させる。
【００８３】
上述したように、照射光学系２１１の移動方向において加工光ＥＬが照射されている部分（つまり、溶融池ＭＰ及び目標照射領域ＥＡ）よりも前方又は後方に位置する部分に計測光ＧＬを照射する場合において、照射光学系２１１の移動方向が変わる可能性がある。この場合、ＸＹ平面に沿った面内において計測光ＧＬの照射位置と加工光ＥＬの照射位置とが固定されていると、加工システムＳＹＳａは、照射光学系２１１の移動方向において溶融池ＭＰ及び目標照射領域ＥＡよりも前方又は後方に位置する部分に計測光ＧＬを照射することができない可能性がある。具体的には、照射光学系２１１が第１の移動方向に沿って移動している場合には、加工システムＳＹＳａは、照射光学系２１１の移動方向において溶融池ＭＰ及び目標照射領域ＥＡよりも前方又は後方に位置する部分に計測光ＧＬを照射することができる一方で、照射光学系２１１が第１の移動方向に交差する第２の移動方向に沿って移動している場合には、加工システムＳＹＳａは、照射光学系２１１の移動方向において溶融池ＭＰ及び目標照射領域ＥＡよりも前方又は後方に位置する部分に計測光ＧＬを照射することができない可能性がある。そこで、加工システムＳＹＳａは、交差する複数の計測光ＧＬをそれぞれ照射する複数の計測光射出装置７１を含む射出装置群を、複数備えていてもよい。複数の射出装置群は、一の射出装置群から射出される計測光ＧＬが交差する位置と他の射出装置群から射出される計測光ＧＬが交差する位置とがＸ軸方向及びＹ軸方向の少なくとも一方に沿って異なるものとなるように、配置される。例えば、図１５に示すように、加工システムＳＹＳａは、（ｉ）溶融池ＭＰ及び目標照射領域ＥＡよりも－Ｙ側及び－Ｘ側に向かって離れた位置において交差する複数の計測光ＧＬ＃１をそれぞれ射出する複数の計測光射出装置７１を含む第１の射出装置群と、（ｉｉ）溶融

池ＭＰ及び目標照射領域ＥＡよりも－Ｘ側に向かって離れた位置において交差する複数の計測光ＧＬ＃２をそれぞれ射出する複数の計測光射出装置７１を含む第２の射出装置群と、（ｉｉｉ）溶融池ＭＰ及び目標照射領域ＥＡよりも－Ｙ側及び＋Ｘ側に向かって離れた位置において交差する複数の計測光ＧＬ＃３をそれぞれ射出する複数の計測光射出装置７１を含む第３の射出装置群と、（ｉｖ）溶融池ＭＰ及び目標照射領域ＥＡよりも－Ｘ側に向かって離れた位置において交差する複数の計測光ＧＬ＃４をそれぞれ射出する複数の計測光射出装置７１を含む第４の射出装置群と、（ｖ）溶融池ＭＰ及び目標照射領域ＥＡよりも＋Ｘ側に向かって離れた位置において交差する複数の計測光ＧＬ＃５をそれぞれ射出する複数の計測光射出装置７１を含む第５の射出装置群と、（ｖｉ）溶融池ＭＰ及び目標照射領域ＥＡよりも＋Ｙ側及び－Ｘ側に向かって離れた位置において交差する複数の計測光ＧＬ＃６をそれぞれ射出する複数の計測光射出装置７１を含む第６の射出装置群と、（ｖｉｉ）溶融池ＭＰ及び目標照射領域ＥＡよりも＋Ｙ側に向かって離れた位置において交差する複数の計測光ＧＬ＃７をそれぞれ射出する複数の計測光射出装置７１を含む第７の射出装置群と、（ｖｉｉｉ）溶融池ＭＰ及び目標照射領域ＥＡよりも＋Ｙ側及び＋Ｘ側に向かって離れた位置において交差する複数の計測光ＧＬ＃８をそれぞれ射出する複数の計測光射出装置７１を含む第８の射出装置群とを備えていてもよい。この場合、加工システムＳＹＳａは、照射光学系２１１の移動方向が変わったとしても、当該移動方向において溶融池ＭＰ及び目標照射領域ＥＡよりも前方又は後方に位置する部分に計測光ＧＬを照射することができる。或いは、計測光射出装置７１は、計測光ＧＬの照射位置を変更してもよい。例えば、計測光射出装置７１は、照射光学系２１１の移動方向において溶融池ＭＰ及び目標照射領域ＥＡよりも前方又は後方に位置する部分に計測光ＧＬが照射されるように、計測光ＧＬの照射位置を変更してもよい。

【００８４】

（１－３）第１実施形態の加工システムＳＹＳａの技術的効果

以上説明したように、加工システムＳＹＳａは、ノズル移動動作を行うことで、造形量（ひいては、構造層ＳＬの高さ）を制御することができる。このため、加工システムＳＹＳａは、所望の形状及びサイズを有する３次元構造物ＳＴを適切に形成することができる。

【００８５】

特に、加工システムＳＹＳａは、照射光学系２１１とは独立して材料ノズル２１２を移動させることで、造形量（ひいては、構造層ＳＬの高さ）を制御することができる。このため、加工システムＳＹＳａは、造形動作を行う期間の少なくとも一部においてノズル移動動作を行う場合であっても、レシピ情報を変更することなく造形動作を行うことができる。このため、加工システムＳＹＳａは、造形動作に影響を与えることなく、ノズル移動動作を行うことで、造形量（ひいては、構造層ＳＬの高さ）を制御することができる。

【００８６】

（２）第２実施形態の加工システムＳＹＳ

続いて、図１６を参照しながら、第２実施形態の加工システムＳＹＳ（以降、“加工システムＳＹＳｂ”と称する）について説明する。図１６は、第２実施形態の加工システムＳＹＳｂのシステム構成を示すシステム構成図である。

【００８７】

図１６に示すように、第２実施形態の加工システムＳＹＳｂは、上述した第１実施形態の加工システムＳＹＳａと比較して、ディスプレイ９ｂを備えているという点で異なっている。加工システムＳＹＳｂのその他の特徴は、加工システムＳＹＳａのその他の特徴と同一であってもよい。

【００８８】

ディスプレイ９ｂは、制御装置８の制御下で、所望の画像を表示可能な表示装置である。第２実施形態では、ディスプレイ９ｂは、造形動作に関する情報を含む画像を表示してもよい。例えば、ディスプレイ９ｂが表示する画像の一例を示す平面図である図１７に示すように、ディスプレイ９ｂは、構造層ＳＬ＃ｎの上に構造層ＳＬ＃ｎ＋１を形成するための造形動作が行われた場合には、付加加工によって形成された構造層ＳＬ＃ｎ＋１の位

置に関する情報を含む画像を表示してもよい。つまり、ディスプレイ９ｂは、構造層ＳＬ＃ｎ＋１を形成するために造形面ＭＳ上で付加加工を行った位置に関する情報を含む画像を表示してもよい。図１７に示す例では、ディスプレイ９ｂは、付加加工を行った位置に関する情報（つまり、構造層ＳＬ＃ｎ＋１の位置に関する情報）を含む画像として、形成された構造層ＳＬ＃ｎ＋１をハッチングされた領域で示す画像を表示している。

【００８９】

ディスプレイ９ｂは、ノズル移動動作に関する情報を含む画像を表示してもよい。例えば、ノズル移動動作によって、構造層ＳＬ＃ｎ＋１の各部分を形成するときの集中領域ＣＰと造形面ＭＳとの間の距離Ｄ２（更には、材料ノズル２１２と造形面ＭＳとの間の距離Ｄ１）が変更される。この場合、ディスプレイ９ｂは、付加加工を行った位置に関する情報を、当該付加加工を行った場合の距離Ｄ２（或いは、距離Ｄ１）の違いに応じた表示態様で示す画像を表示してもよい。例えば、ディスプレイ９ｂは、構造層ＳＬ＃ｎ＋１のうち距離Ｄ２が基準距離Ｄ２０となる状態で形成された第１部分ＳＬｐ１と、構造層ＳＬ＃ｎ＋１のうち距離Ｄ２が距離Ｄ２１となる状態で形成された第２部分ＳＬｐ２と、構造層ＳＬ＃ｎ＋１のうち距離Ｄ２が距離Ｄ２２となる状態で形成された第３部分ＳＬｐ３とを、異なる表示態様で表示してもよい。図１７に示す例では、ディスプレイ９ｂは、第１部分ＳＬｐ１を示すハッチングの種類と、第２部分ＳＬｐ２を示すハッチングの種類と、第３部分ＳＬｐ３を示すハッチングの種類とが異なるものとなるように、付加加工を行った位置に関する情報（つまり、構造層ＳＬ＃ｎ＋１の位置に関する情報）を含む画像を表示している。

【００９０】

或いは、例えば、ディスプレイ９ｂは、構造層ＳＬ＃ｎ＋１の各部分を異なる表示態様で表示することに加えて又は代えて、構造層ＳＬ＃ｎ＋１の各部分と共に各部分を形成したときの距離Ｄ２（或いは、距離Ｄ１）を示す情報を表示してもよい。具体的には、例えば、図１７に示すように、ディスプレイ９ｂは、第１部分ＳＬｐ１と共に第１部分ＳＬｐ１を形成したときの距離Ｄ２が基準距離Ｄ２０であったことを示す数値情報を表示し、第２部分ＳＬｐ２と共に第２部分ＳＬｐ２を形成したときの距離Ｄ２が距離Ｄ２１であったことを示す数値情報を表示し、第３部分ＳＬｐ３と共に第３部分ＳＬｐ３を形成したときの距離Ｄ２が距離Ｄ２２であったことを示す数値情報を表示してもよい。

【００９１】

このような第２実施形態の加工システムＳＹＳｂは、上述した第１実施形態の加工システムＳＹＳａが享受可能な効果と同様の効果を享受することができる。更に、加工システムＳＹＳｂは、造形動作に関する情報及びノズル移動動作に関する情報の少なくとも一方を含む画像を表示可能である。このため、加工システムＳＹＳｂは、加工システムＳＹＳｂのオペレータに対して、造形動作に関する情報及びノズル移動動作に関する情報の少なくとも一方を提示することができる。例えば、加工システムＳＹＳｂは、オペレータに対して、ノズル移動動作によって造形面ＭＳからの材料ノズル２１２の高さが変更された状態で造形物が形成された位置を提示することができる。

【００９２】

尚、加工システムＳＹＳｂは、ディスプレイ９ｂに加えて又は代えて、任意の情報を出力可能な出力装置を備えていてもよい。出力装置は、造形動作に関する情報及びノズル移動動作に関する情報の少なくとも一方を出力可能であってもよい。出力装置の一例として、任意の情報を音声として出力するスピーカ及び任意の情報が印刷された紙媒体を出力するプリンタの少なくとも一方があげられる。

【００９３】

（３）第３実施形態の加工システムＳＹＳ

続いて、第３実施形態の加工システムＳＹＳ（以降、“加工システムＳＹＳｃ”と称する）について説明する。第３実施形態の加工システムＳＹＳｃは、上述した第１実施形態の加工システムＳＹＳａと比較して、ノズル駆動系２３が、Ｚ軸に沿って材料ノズル２１２を移動させることに加えて又は代えて、θＸ方向及びθＹ方向の少なくとも一つに沿って

材料ノズル２１２を移動させるという点で異なっている。つまり、加工システムＳＹＳｃは、加工システムＳＹＳａと比較して、ノズル駆動系２３が、Ｘ軸及びＹ軸の少なくとも一方に沿った回転軸廻りに材料ノズル２１２を回転させるという点で異なっている。加工システムＳＹＳｃは、加工システムＳＹＳａと比較して、材料ノズル２１２をＺ軸に沿って移動させるノズル移動動作に加えて又は代えて、材料ノズル２１２をＸ軸及びＹ軸の少なくとも一方に沿った回転軸廻りに回転させるノズル移動動作を行うという点で異なっている。加工システムＳＹＳｃのその他の特徴は、加工システムＳＹＳｃのその他の特徴と同一であってもよい。尚、材料ノズル２１２を回転軸廻りに回転させるノズル移動動作は、ノズル回転移動動作と称されてもよい。

【００９４】

材料ノズル２１２がＸ軸及びＹ軸の少なくとも一方に沿った回転軸廻りに回転すると、材料ノズル２１２がＺ軸に沿って移動する場合と同様に、集中領域ＣＰと造形面ＭＳとの間の距離Ｄ２が変わる。その技術的理由について、図１８（ａ）及び図１８（ｂ）について説明する。図１８（ａ）は、Ｘ軸及びＹ軸の少なくとも一方に沿った回転軸廻りに回転する前の材料ノズル２１２を示す断面図であり、図１８（ｂ）は、Ｘ軸及びＹ軸の少なくとも一方（図１８（ｂ）に示す例では、Ｘ軸）に沿った回転軸廻りに回転した後の材料ノズル２１２を示す断面図である。

【００９５】

図１８（ａ）及び図１８（ｂ）に示すように、材料ノズル２１２がＸ軸及びＹ軸の少なくとも一方に沿った回転軸廻りに回転すると、材料ノズル２１２の方向（つまり、材料ノズル２１２が向いている方向であり、より具体的には、材料供給口２１２１が向いている方向）が変わる。例えば、照射光学系２１１（例えば、その最終光学要素２１１２）に対する材料ノズル２１２の方向が変わる。例えば、照射光学系２１１（例えば、その最終光学要素２１１２）と材料ノズル２１２との相対的な方向関係（つまり、照射光学系２１１（例えば、その最終光学要素２１１２）が向いている方向と材料ノズル２１２が向いている方向との相対関係）が変わる。例えば、計測装置７（例えば、計測光射出装置７１及び撮像装置７２の少なくとも一つ）に対する材料ノズル２１２の方向が変わる。例えば、計測装置７（例えば、計測光射出装置７１及び撮像装置７２の少なくとも一つ）と材料ノズル２１２との相対的な方向関係（つまり、計測装置７（例えば、計測光射出装置７１及び撮像装置７２の少なくとも一つ）が向いている方向と材料ノズル２１２が向いている方向との相対関係）が変わる。このため、第３実施形態では、ノズル駆動系２３は、材料ノズル２１２の方向を変化させる方向変更装置として機能しているとみなしてもよい。材料ノズル２１２の方向が変わると、材料ノズル２１２からの造形材料Ｍの供給方向が変わる。材料ノズル２１２からの造形材料Ｍの供給方向が変わると、複数の材料ノズル２１２の材料供給口２１２１から供給される造形材料Ｍが集中する集中領域ＣＰの位置が変わる。図１８（ａ）及び図１８（ｂ）に示す例では、材料ノズル２１２からの造形材料Ｍの供給方向に沿った軸とＺ軸とがなす角度θが大きくなるように、材料ノズル２１２が回転している。この場合、集中領域ＣＰの位置は、造形面ＭＳに近づくように変化する。つまり、集中領域ＣＰと造形面ＭＳとの間の距離Ｄ２は、図１８（ａ）に示す距離Ｄ２３から、距離Ｄ２３よりも短い図１８（ｂ）に示す距離Ｄ２４へと変化する。一方で、説明の簡略化のために図示しないものの、図１８（ａ）及び図１８（ｂ）に示す例において材料ノズル２１２からの造形材料Ｍの供給方向に沿った軸とＺ軸とがなす角度θが小さくなるように材料ノズル２１２が回転すると、集中領域ＣＰの位置は、造形面ＭＳから遠ざかるように変化する。つまり、集中領域ＣＰと造形面ＭＳとの間の距離Ｄ２は、距離Ｄ２３から、距離Ｄ２３よりも長い距離へと変化する。

【００９６】

距離Ｄ２と造形量との間には、距離Ｄ２が短くなるほど造形量が多くなるという関係があることは、第１実施形態において既に説明したとおりである。このため、第３実施形態の加工システムＳＹＳｃは、第１実施形態の加工システムＳＹＳａと同様に、距離Ｄ２を変更するように材料ノズル２１２の方向を変えることで、造形物の造形量を制御すること

ができる。その結果、第２実施形態の加工システムＳＹＳｂは、上述した第１実施形態の加工システムＳＹＳｂが享受可能な効果と同様の効果を享受することができる。

【００９７】

尚、図１８（ａ）及び図１８（ｂ）は、複数の材料ノズル２１２が互いに逆の回転方向で同じ回転量（つまり、回転角度の符号が逆で絶対値が互いに等しい）だけ回転している例を示している。しかしながら、ノズル駆動系２３は、複数の材料ノズル２１２の少なくとも一つの方向を変化させる一方で、複数の材料ノズル２１２の少なくとも他の一つの方向を変化させなくてもよい。この場合であっても、少なくとも一つの材料ノズル２１２の方向が変化しているがゆえに、距離Ｄ２が変わることに変わりはない。或いは、ノズル駆動系２３は、複数の材料ノズル２１２の少なくとも一つの方向を第１の変化態様で変化させる一方で、複数の材料ノズル２１２の少なくとも他の一つの方向を第１の変化態様とは異なる第２の変化態様で変化させてもよい。例えば、ノズル駆動系２３は、複数の材料ノズル２１２の少なくとも一つを第１の回転量だけ回転させる一方で、複数の材料ノズル２１２の少なくとも他の一つを第１の回転量とは異なる第２の回転量だけ回転させてもよい。つまり、ノズル駆動系２３は、複数の材料ノズル２１２の方向の変化量が異なるものとなるように複数の材料ノズル２１２の方向を変化させてもよい。この場合であっても、少なくとも一つの材料ノズル２１２の方向が変化しているがゆえに、距離Ｄ２が変わることに変わりはない。

【００９８】

また、上述した第２実施形態の加工システムＳＹＳｂが、第３実施形態の加工システムＳＹＳｃに特有の構成要件を備えていてもよい。第３実施形態の加工システムＳＹＳｃに特有の構成要件は、例えば、材料ノズル２１２の方向を変更するノズル移動動作に関する構成要件を含んでいてもよい。

【００９９】

（４）第４実施形態の加工システムＳＹＳ

続いて、第４実施形態の加工システムＳＹＳ（以降、“加工システムＳＹＳｄ”と称する）について説明する。第４実施形態の加工システムＳＹＳｄは、上述した第１実施形態の加工システムＳＹＳａと比較して、計測装置７の計測結果に基づいて材料ノズル２１２を移動させるノズル移動動作を行うことに加えて又は代えて、計測装置７の計測結果に基づいて材料ノズル２１２からの造形材料Ｍの供給量（具体的には、単位時間当たりの供給量）を制御する供給量制御動作を行うことで、造形量（ひいては、構造層ＳＬの高さ）を制御するという点で異なっている。加工システムＳＹＳｄがノズル移動動作を行わない場合には、加工システムＳＹＳｄのシステム構成の一例を示す図１９に示すように、加工システムＳＹＳｄは、ノズル駆動系２３を備えていなくてもよい。加工システムＳＹＳｄのその他の特徴は、加工システムＳＹＳａのその他の特徴と同一であってもよい。

【０１００】

材料ノズル２１２からの造形材料Ｍの供給量は、造形量に影響を与える。具体的には、材料ノズル２１２からの造形材料Ｍの供給量が多くなるほど、溶融池ＭＰに供給される造形材料Ｍの分量が多くなる。溶融池ＭＰに供給される造形材料Ｍの分量が多くなるほど、溶融池ＭＰにおいて溶融する造形材料Ｍの分量が多くなる。溶融池ＭＰにおいて溶融する造形材料Ｍの分量が多くなるほど、造形面ＭＳで固化する造形材料Ｍの分量が多くなる。その結果、固化した造形材料Ｍによる造形物の高さ（つまり、Ｚ軸方向に沿ったサイズであり、造形量）が高くなる。このため、図２０に示すように、造形材料Ｍの供給量と造形量との間には、造形材料Ｍの供給量が多くなるほど造形量が多くなるという関係がある。つまり、造形材料Ｍの供給量と造形量との間には、造形材料Ｍの供給量が少なくなるほど造形量が少なくなるという関係がある。

【０１０１】

加工システムＳＹＳｄは、制御装置８の制御下で、このような造形材料Ｍの供給量と造形量との間に成立する関係を用いて供給量制御動作を行うことで、造形物の造形量を制御する。つまり、加工システムＳＹＳｄは、計測装置７の計測結果に基づいて造形材料Ｍの

供給量を制御することで、造形物の造形量を制御する。

【０１０２】

一例として、凹凸のある造形面ＭＳ上に、平坦な表面を有する新たな構造層ＳＬを形成する際に行われる供給量制御動作について説明する。例えば、図２１の１段目（最も上の図）には、図１２に示す造形面ＭＳ＃１から＃４を含む造形面ＭＳが記載されている。この場合、新たに形成される構造層ＳＬ＃ｎ＋１の表面を平坦にするためには、加工システムＳＹＳｄは、供給量制御動作を行うことで、造形面ＭＳ＃２に形成される造形物の高さを、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４に形成される造形物の高さよりも低くし、且つ、造形面ＭＳ＃３に形成される造形物の高さを、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４に形成される造形物の高さよりも高くしてもよい。つまり、加工システムＳＹＳｄは、供給量制御動作を行うことで、造形面ＭＳ＃２における造形量を、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４における造形量よりも少なくし、造形面ＭＳ＃３における造形量を、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４における造形量よりも多くしてもよい。

【０１０３】

具体的には、加工システムＳＹＳｄは、図２１の２段目に示すように、造形面ＭＳ＃２に対して造形物を形成する期間中に造形面ＭＳ＃２に供給される造形材料Ｍの供給量が、造形面ＭＳ＃１及び＃４に対して造形物を形成する期間中に造形面ＭＳ＃１及び＃４に供給される造形材料Ｍの供給量よりも少なくなるように、造形材料Ｍの供給量を制御してもよい。その結果、図２１の３段目のグラフに示すように、造形面ＭＳ＃２における造形量は、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４における造形量よりも少なくなる。一方で、加工システムＳＹＳｄは、図２１の２段目に示すように、造形面ＭＳ＃３に対して造形物を形成する期間中に造形面ＭＳ＃３に供給される造形材料Ｍの供給量が、造形面ＭＳ＃１及び＃４に対して造形物を形成する期間中に造形面ＭＳ＃１及び＃４に供給される造形材料Ｍの供給量よりも多くなるように、造形材料Ｍの供給量を制御してもよい。その結果、図２１の３段目のグラフに示すように、造形面ＭＳ＃３における造形量は、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４における造形量よりも多くなる。このため、計測装置７の計測結果が示す造形面ＭＳの位置（高さ）に関する情報に基づいて供給量制御動作が行われることで、図２１の４段目に示すように、凹凸のある造形面ＭＳに新たに形成された構造層ＳＬ＃ｎ＋１の表面（特に、上面）は、平坦な面となる。

【０１０４】

造形材料Ｍの供給量を制御するために、制御装置８は、材料供給源１を制御してもよい。具体的には、制御装置８は、材料供給源１が加工装置２（つまり、材料ノズル２１２）に供給する造形材料Ｍの供給量を制御することで、材料ノズル２１２からの造形材料Ｍの供給量を制御してもよい。例えば、制御装置８は、材料供給源１が加工装置２に供給する造形材料Ｍの供給量を減らすことで、材料ノズル２１２からの造形材料Ｍの供給量を減らしてもよい。例えば、制御装置８は、材料供給源１が加工装置２に供給する造形材料Ｍの供給量を減らすことで、材料ノズル２１２からの造形材料Ｍの供給量を減らしてもよい。

【０１０５】

このように、第４実施形態の加工システムＳＹＳｄは、供給量制御動作を行うことで、造形量（ひいては、構造層ＳＬの高さ）を制御することができる。このため、加工システムＳＹＳｄは、上述した加工システムＳＹＳａと同様に、所望の形状及びサイズを有する３次元構造物ＳＴを適切に形成することができる。

【０１０６】

特に、加工システムＳＹＳｄは、照射光学系２１１とは独立して造形材料Ｍの供給量を制御することで、造形量（ひいては、構造層ＳＬの高さ）を制御することができる。このため、加工システムＳＹＳｄは、造形動作を行う期間の少なくとも一部において供給量制御動作を行う場合であっても、レシピ情報を変更することなく造形動作を行うことができる。このため、加工システムＳＹＳｄは、上述した加工システムＳＹＳａと同様に、造形動作に影響を与えることなく、供給量制御動作を行うことで、造形量（ひいては、構造層ＳＬの高さ）を制御することができる。

【０１０７】
尚、制御装置８は、複数の材料ノズル２１２からの造形材料Ｍの供給量を同じように変化させてもよい。例えば、制御装置８は、複数の材料ノズル２１２からの造形材料Ｍの供給量を、同じ変化量だけ変化させてもよい。或いは、制御装置８は、複数の材料ノズル２１２の少なくとも一つからの造形材料Ｍの供給量を変化させる一方で、複数の材料ノズル２１２の少なくとも他の一つからの造形材料Ｍの供給量を変化させなくてもよい。この場合であっても、少なくとも一つの材料ノズル２１２からの造形材料Ｍの供給量が変化しているがゆえに、造形量が変わることに変わりはない。或いは、制御装置８は、複数の材料ノズル２１２の少なくとも一つからの造形材料Ｍの供給量を第１の変化態様で変化させる一方で、複数の材料ノズル２１２の少なくとも他の一つからの造形材料Ｍの供給量を第１の変化態様とは異なる第２の変化態様で変化させてもよい。例えば、制御装置８は、複数の材料ノズル２１２の少なくとも一つからの造形材料Ｍの供給量を第１の変化量だけ変化させる一方で、複数の材料ノズル２１２の少なくとも他の一つからの造形材料Ｍの供給量を第１の変化量とは異なる第２の変化量だけ変化させてもよい。つまり、制御装置８は、複数の材料ノズル２１２からの造形材料Ｍの供給量の変化量が異なるものとなるように複数の材料ノズル２１２からの造形材料Ｍの供給量を変化させてもよい。この場合であっても、少なくとも一つの材料ノズル２１２からの造形材料Ｍの供給量が変化しているがゆえに、造形量が変わることに変わりはない。
【０１０８】
また、上述した第２実施形態の加工システムＳＹＳｂから第３実施形態の加工システムＳＹＳｃの少なくとも一つが、第４実施形態の加工システムＳＹＳｄに特有の構成要件を備えていてもよい。第４実施形態の加工システムＳＹＳｄに特有の構成要件は、例えば、供給量制御動作に関する構成要件を含んでいてもよい。
【０１０９】
（５）第５実施形態の加工システムＳＹＳ
続いて、図２２及び図２３を参照しながら、第５実施形態の加工システムＳＹＳ（以降、“加工システムＳＹＳｅ”と称する）について説明する。図２２は、第５実施形態の加工システムＳＹＳｅの構造を示す断面図である。図２３は、第５実施形態の加工システムＳＹＳｅのシステム構成を示すシステム構成図である。
【０１１０】
図２２及び図２３に示すように、第５実施形態の加工システムＳＹＳｅは、上述した第４実施形態の加工システムＳＹＳｄと比較して、供給量制御動作を行うという点で同じである。一方で、加工システムＳＹＳｅは、加工システムＳＹＳｄと比較して、粉粒体である造形材料Ｍに代えて、ワイヤ状の造形材料Ｍｅを用いて造形動作を行うという点で異なっている。
【０１１１】
ワイヤ状の造形材料Ｍｅを用いて造形動作を行うために、加工システムＳＹＳｅは、加工システムＳＹＳｄと比較して、材料供給源１及び加工装置２に代えて、材料供給源１ｅ及び加工装置２ｅを備えているという点で異なっている。更に、加工システムＳＹＳｅは、加工システムＳＹＳｄと比較して、混合装置１２を備えていなくてもよいという点で異なっている。加工システムＳＹＳｅのその他の特徴は、加工システムＳＹＳｄのその他の特徴と同一であってもよい。
【０１１２】
材料供給源１ｅは、ワイヤ状の造形材料Ｍｅを加工装置２ｅに供給するという点で、粉粒体である造形材料Ｍを加工装置２に供給する材料供給源１とは異なっている。材料供給源１ｅのその他の特徴は、材料供給源１のその他の特徴と同一であってもよい。
【０１１３】
加工装置２ｅは、加工装置２と比較して、加工ヘッド２１に代えて、加工ヘッド２１ｅを備えているという点で異なっている。加工装置２ｅのその他の特徴は、加工装置２のその他の特徴と同一であってもよい。加工ヘッド２１ｅは、加工ヘッド２１と比較して、材

料ノズル２１２に代えて、材料ノズル２１２ｅを備えているという点で異なっている。加工ヘッド２１ｅのその他の特徴は、加工ヘッド２１のその他の特徴と同一であってもよい。材料ノズル２１２ｅは、ワイヤ状の造形材料Ｍｅを材料供給口２１２１ｅから造形面ＭＳ（造形面ＭＳ上の溶融池ＭＰ）に供給するという点で、粉粒体である造形材料Ｍを材料供給口２１２１から造形面ＭＳ（造形面ＭＳ上の溶融池ＭＰ）に供給する材料ノズル２１２とは異なっている。材料ノズル２１２ｅのその他の特徴は、材料ノズル２１２のその他の特徴と同一であってもよい。

【０１１４】

このような第５実施形態の加工システムＳＹＳｅであっても、上述した第４実施形態の加工システムＳＹＳｄと同様に、計測装置７の計測結果に基づいて材料ノズル２１２ｅからの造形材料Ｍｅの供給量を制御する供給量制御動作を行ってもよい。例えば、加工システムＳＹＳｅは、材料供給源１ｅから加工装置２ｅに向けて送り出される造形材料Ｍｅの分量（送り出し量）を制御することで、造形量を制御してもよい。その結果、加工システムＳＹＳｅは、加工システムＳＹＳｄが享受可能な効果と同様の効果を享受することができる。加えて、加工システムＳＹＳｅは、ワイヤ状の造形材料Ｍｅを供給するため、溶融池ＭＰの外側に向かって供給される造形材料Ｍｅ（つまり、造形物の形成に寄与しない無駄な造形材料Ｍｅ）の分量を減らすことができる。このため、加工システムＳＹＳｅは、加工システムＳＹＳｄと比較して、造形材料Ｍｅの利用効率を向上させることができる。

【０１１５】

（６）第６実施形態の加工システムＳＹＳ

続いて、図２４を参照しながら、第６実施形態の加工システムＳＹＳ（以降、“加工システムＳＹＳｆ”と称する）について説明する。図２４は、第６実施形態の加工システムＳＹＳｆの構造を示す断面図である。

【０１１６】

図２４に示すように、第６実施形態の加工システムＳＹＳｆは、上述した第１実施形態の加工システムＳＹＳａと比較して、加工装置２に代えて、加工装置２ｆを備えているという点で異なっている。加工システムＳＹＳｆのその他の特徴は、加工システムＳＹＳａのその他の特徴と同一であってもよい。加工装置２ｆは、加工装置２と比較して、加工ヘッド２１に代えて、加工ヘッド２１ｆを備えているという点で異なっている。加工装置２ｆのその他の特徴は、加工装置２のその他の特徴と同一であってもよい。加工ヘッド２１ｆは、加工ヘッド２１と比較して、照射光学系２１１及び材料ノズル２１２の数及び配置位置が異なるという点で異なっている。加工ヘッド２１ｆのその他の特徴は、加工ヘッド２１のその他の特徴と同一であってもよい。

【０１１７】

第６実施形態では、加工ヘッド２１ｆは、単一の材料ノズル２１２と、複数の照射光学系２１１とを備えている。但し、加工ヘッド２１ｆは、複数の材料ノズル２１２を備えていてもよい。加工ヘッド２１ｆは、単一の照射光学系２１１を備えていてもよい。

【０１１８】

材料ノズル２１２は、材料ノズル２１２から真下に向かって（つまり、－Ｚ側に向かって）造形材料Ｍを供給するように、ヘッド筐体２１３に取り付けられている。つまり、材料ノズル２１２は、Ｚ軸に沿った供給経路を介して造形材料Ｍを供給するように、ヘッド筐体２１３に取り付けられている。一方で、照射光学系２１１は、照射光学系２１１の光軸ＡＸがＺ軸に対して傾斜するように、ヘッド筐体２１３に取り付けられている。特に、複数の照射光学系２１１は、それぞれ異なる方向に向けて加工光ＥＬを射出するように、ヘッド筐体２１３に取り付けられている。複数の照射光学系２１１は、複数の照射光学系２１１からそれぞれ射出される複数の加工光ＥＬが、加工ヘッド２１ｆの下方において交差するように、ヘッド筐体２１３に取り付けられている。

【０１１９】

このように材料ノズル２１２及び照射光学系２１１が配置される加工システムＳＹＳｆもまた、加工システムＳＹＳａと同様に、ノズル移動動作を行ってもよい。但し、第６実

施形態は、材料ノズル２１２が真下に向かって（つまり、－Ｚ側に向かって）造形材料Ｍを供給するという点で、第１実施形態とは異なる。この場合、図２５に示すように、材料ノズル２１２と造形面ＭＳとの間の距離Ｄ１と造形量との間には、距離Ｄ１が長くなるほど造形量が少なくなるという関係がある。つまり、第６実施形態における距離Ｄ１と造形量との間の関係は、第１実施形態における距離Ｄ１と造形量との間の関係とは逆の関係になる。というのも、材料ノズル２１２が真下に向かって造形材料Ｍを供給するがゆえに、材料ノズル２１２から供給された造形材料Ｍは、材料ノズル２１２から末広がりに落下していく。つまり、材料ノズル２１２から供給された造形材料Ｍは、下方に向かうにつれて外側に徐々に広がるように落下していく。その結果、距離Ｄ１が長くなるほど（つまり、造形面ＭＳが材料ノズル２１２から離れるほど）、造形面ＭＳ上での造形材料Ｍの分布密度が小さくなる。造形面ＭＳ上での造形材料Ｍの分布密度が小さくなると、溶融池ＭＰに供給される造形材料Ｍの分量が少なくなる。溶融池ＭＰに供給される造形材料Ｍの分量が少なくなるほど、溶融池ＭＰにおいて溶融する造形材料Ｍの分量が少なくなる。溶融池ＭＰにおいて溶融する造形材料Ｍの分量が少なくなるほど、造形面ＭＳで固化する造形材料Ｍの分量が少なくなる。その結果、固化した造形材料Ｍによる造形物の高さ（つまり、造形量）が低くなる。このため、図２５に示すように、距離Ｄ１と造形量との間には、距離Ｄ１が長くなるほど造形量が少なくなるという関係がある。

【０１２０】

加工システムＳＹＳｆは、制御装置８の制御下で、このような距離Ｄ１と造形量との間に成立する関係を用いてノズル移動動作を行うことで、造形物の造形量を制御する。つまり、加工システムＳＹＳｆは、距離Ｄ１を変更するように材料ノズル２１２を移動させることで、造形物の造形量を制御する。

【０１２１】

一例として、凹凸のある造形面ＭＳ上に、平坦な表面を有する新たな構造層ＳＬを形成する際に行われるノズル移動動作について説明する。例えば、図２６の１段目（最も上の図）には、図１２に示す造形面ＭＳ＃１から＃４を含む造形面ＭＳが記載されている。この場合、新たに形成される構造層ＳＬ＃ｎ＋１の表面を平坦にするためには、加工システムＳＹＳｆは、ノズル移動動作を行うことで、造形面ＭＳ＃２に形成される造形物の高さを、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４に形成される造形物の高さよりも低くし、且つ、造形面ＭＳ＃３に形成される造形物の高さを、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４に形成される造形物の高さよりも高くしてもよい。つまり、加工システムＳＹＳｆは、ノズル移動動作を行うことで、造形面ＭＳ＃２における造形量を、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４における造形量よりも少なくし、造形面ＭＳ＃３における造形量を、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４における造形量よりも多くしてもよい。

【０１２２】

具体的には、加工システムＳＹＳｆは、図２６の２段目に示すように、造形面ＭＳ＃２に対して造形物を形成する期間中の造形面ＭＳ＃２と材料ノズル２１２との間の距離Ｄ１が、造形面ＭＳ＃１及び＃４に対して造形物を形成する期間中の造形面ＭＳ＃１及び＃４と材料ノズル２１２との間の距離Ｄ１よりも長くなるように、材料ノズル２１２を移動させてもよい。その結果、図２６の３段目のグラフに示すように、造形面ＭＳ＃２における造形量は、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４における造形量よりも少なくなる。一方で、加工システムＳＹＳｆは、図２６の２段目に示すように、造形面ＭＳ＃３に対して造形物を形成する期間中の造形面ＭＳ＃３と材料ノズル２１２との間の距離Ｄ１が、造形面ＭＳ＃１及び＃４に対して造形物を形成する期間中の造形面ＭＳ＃１及び＃４と材料ノズル２１２との間の距離Ｄ１よりも短くなるように、材料ノズル２１２を移動させてもよい。その結果、図２６の３段目のグラフに示すように、造形面ＭＳ＃３における造形量は、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４における造形量よりも多くなる。このため、計測装置７の計測結果が示す造形面ＭＳの位置（高さ）に関する情報に基づいてノズル移動動作が行われることで、図２６の４段目に示すように、凹凸のある造形面ＭＳに新たに形成された構造層ＳＬ＃ｎ＋１の表面（特に、上面）は、平坦な面となる。

【０１２３】
このように、第６実施形態の加工システムＳＹＳｆもまた、第１実施形態の加工システムＳＹＳａと同様に、ノズル移動動作を行うことで、造形量（ひいては、構造層ＳＬの高さ）を制御することができる。このため、加工システムＳＹＳｆは、加工システムＳＹＳａが享受可能な効果と同様の効果を享受することができる。
【０１２４】
また、上述した第２実施形態の加工システムＳＹＳｂから第５実施形態の加工システムＳＹＳｅの少なくとも一つが、第６実施形態の加工システムＳＹＳｆに特有の構成要件を備えていてもよい。第６実施形態の加工システムＳＹＳｆに特有の構成要件は、例えば、照射光学系２１１及び材料ノズル２１２の配置位置及び数に関する構成要件を含んでいてもよい。
【０１２５】
（７）第７実施形態の加工システムＳＹＳ
続いて、第７実施形態の加工システムＳＹＳ（以降、“加工システムＳＹＳｇ”と称する）について説明する。第７実施形態の加工システムＳＹＳｇは、上述した第１実施形態の加工システムＳＹＳａと比較して、計測装置７の計測結果に基づいて材料ノズル２１２を移動させるノズル移動動作を行うことに加えて又は代えて、計測装置７の計測結果に基づいて加工光ＥＬの収斂位置ＦＰを制御する収斂位置制御動作を行うことで、造形量（ひいては、構造層ＳＬの高さ）を制御するという点で異なっている。尚、加工光ＥＬの収斂位置ＦＰは、加工光ＥＬの進行方向における、加工光ＥＬの進行方向と交差する断面の面積が最も小さくなる位置であってもよい。
【０１２６】
収斂位置制御動作を行うために、加工システムＳＹＳｇのシステム構成の一例を示す図２７に示すように、照射光学系２１１は、加工光ＥＬの収斂位置ＦＰを制御可能なフォーカス調整素子２１１１ｇを備えていてもよい。フォーカス調整素子２１１１ｇは、照射光学系２１１の光軸ＡＸに沿った方向（つまり、Ｚ軸に沿った方向）において加工光ＥＬの収斂位置ＦＰを変更可能な光学部材である。フォーカス調整素子２１１１ｇの一例として、照射光学系２１１の光軸ＡＸに沿って配置され且つその間の距離を変更可能な二つの光学素子を含む光学部材があげられる。尚、加工システムＳＹＳｇがノズル移動動作を行わない場合には、加工システムＳＹＳｇは、ノズル駆動系２３を備えていなくてもよい。加工システムＳＹＳｇのその他の特徴は、加工システムＳＹＳａのその他の特徴と同一であってもよい。
【０１２７】
加工光ＥＬの収斂位置ＦＰは、造形量に影響を与える。具体的には、収斂位置ＦＰが変わると、造形面ＭＳと収斂位置ＦＰとの間の距離Ｄ３（具体的には、Ｚ軸に沿った距離であり、図２８参照）が変わる。尚、以下の説明では、造形面ＭＳと収斂位置ＦＰとの間の距離Ｄ３を、“デフォーカス量Ｄ３”と称する。デフォーカス量Ｄ３が変わると、造形面ＭＳ上での加工光ＥＬのフルエンス（例えば、単位面積当たりのエネルギー量）が変わる。具体的には、デフォーカス量Ｄ３が大きくなるほど、造形面ＭＳ上で加工光ＥＬが形成するスポットのサイズが大きくなるがゆえに、造形面ＭＳ上での加工光ＥＬのフルエンスが小さくなる。一方で、デフォーカス量Ｄ３が小さくなるほど、造形面ＭＳ上で加工光ＥＬが形成するスポットのサイズが小さくなるがゆえに、造形面ＭＳ上での加工光ＥＬのフルエンスが大きくなる。造形面ＭＳ上での加工光ＥＬのフルエンスが大きくなるほど、溶融池ＭＰにおいて溶融する造形材料Ｍの分量が多くなる。溶融池ＭＰにおいて溶融する造形材料Ｍの分量が多くなるほど、造形面ＭＳで固化する造形材料Ｍの分量が多くなる。その結果、固化した造形材料Ｍによる造形物の高さ（つまり、Ｚ軸方向に沿ったサイズであり、造形量）が高くなる。このため、図２９に示すように、デフォーカス量Ｄ３と造形量との間には、デフォーカス量Ｄ３が大きくなるほど造形量が少なくなるという関係がある。つまり、デフォーカス量Ｄ３と造形量との間には、デフォーカス量Ｄ３が小さくなるほど造形量が多くなるという関係がある。

【０１２８】
加工システムＳＹＳｇは、制御装置８の制御下で、このような収斂位置ＦＰ（具体的には、収斂位置ＦＰに応じて定まるデフォーカス量Ｄ３）と造形量との間に成立する関係を用いて収斂位置制御動作を行うことで、造形物の造形量を制御する。つまり、加工システムＳＹＳｇは、計測装置７の計測結果に基づいて収斂位置ＦＰを変更するようにフォーカス調整素子２１１１ｇを制御することで、造形物の造形量を制御する。より具体的には、加工システムＳＹＳｇは、計測装置７の計測結果に基づいて造形面ＭＳと収斂位置ＦＰとの相対的な位置関係を変更するようにフォーカス調整素子２１１１ｇを制御することで、造形物の造形量を制御する。言い換えれば、加工システムＳＹＳｇは、計測装置７の計測結果に基づいて造形面ＭＳと収斂位置ＦＰとの間の距離に相当するデフォーカス量Ｄ３を変更するようにフォーカス調整素子２１１１ｇを制御することで、造形物の造形量を制御する。
【０１２９】
一例として、凹凸のある造形面ＭＳ上に、平坦な表面を有する新たな構造層ＳＬを形成する際に行われる供給量制御動作について説明する。例えば、図３０の１段目（最も上の図）には、図１２に示す造形面ＭＳ＃１から＃４を含む造形面ＭＳが記載されている。この場合、新たに形成される構造層ＳＬ＃ｎ＋１の表面を平坦にするためには、加工システムＳＹＳｇは、収斂位置制御動作を行うことで、造形面ＭＳ＃２に形成される造形物の高さを、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４に形成される造形物の高さよりも低くし、且つ、造形面ＭＳ＃３に形成される造形物の高さを、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４に形成される造形物の高さよりも高くしてもよい。つまり、加工システムＳＹＳｇは、収斂位置制御動作を行うことで、造形面ＭＳ＃２における造形量を、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４における造形量よりも少なくし、造形面ＭＳ＃３における造形量を、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４における造形量よりも多くしてもよい。
【０１３０】
具体的には、加工システムＳＹＳｇは、図３０の２段目に示すように、造形面ＭＳ＃２に対して造形物を形成する期間中のデフォーカス量Ｄ３が、造形面ＭＳ＃１及び＃４に対して造形物を形成する期間中のデフォーカス量よりも大きくなるように、収斂位置ＦＰを制御してもよい。その結果、図３０の３段目のグラフに示すように、造形面ＭＳ＃２における造形量は、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４における造形量よりも少なくなる。一方で、加工システムＳＹＳｇは、図３０の２段目に示すように、造形面ＭＳ＃３に対して造形物を形成する期間中のデフォーカス量Ｄ３が、造形面ＭＳ＃１及び＃４に対して造形物を形成する期間中のデフォーカス量Ｄ３よりも小さくなるように、収斂位置ＦＰを制御してもよい。その結果、図３０の３段目のグラフに示すように、造形面ＭＳ＃３における造形量は、造形面ＭＳ＃１及びＭＳ＃４における造形量よりも多くなる。このため、計測装置７の計測結果が示す造形面ＭＳの位置（高さ）に関する情報に基づいて収斂位置制御動作が行われることで、図３０の４段目に示すように、凹凸のある造形面ＭＳに新たに形成された構造層ＳＬ＃ｎ＋１の表面（特に、上面）は、平坦な面となる。
【０１３１】
このように、第７実施形態の加工システムＳＹＳｇは、収斂位置制御動作を行うことで、造形量（ひいては、構造層ＳＬの高さ）を制御することができる。このため、加工システムＳＹＳｇは、上述した加工システムＳＹＳａと同様に、所望の形状及びサイズを有する３次元構造物ＳＴを適切に形成することができる。
【０１３２】
特に、加工システムＳＹＳｇは、レシピ情報に基づいて移動する照射光学系２１１とは独立して収斂位置ＦＰを制御することで、造形量（ひいては、構造層ＳＬの高さ）を制御することができる。このため、加工システムＳＹＳｇは、造形動作を行う期間の少なくとも一部において収斂位置制御動作を行う場合であっても、レシピ情報を変更することなく造形動作を行うことができる。このため、加工システムＳＹＳｇは、上述した加工システムＳＹＳａと同様に、造形動作に影響を与えることなく、収斂位置制御動作を行うことで

、造形量（ひいては、構造層ＳＬの高さ）を制御することができる。
【０１３３】
尚、上述した第２実施形態の加工システムＳＹＳｂから第６実施形態の加工システムＳＹＳｆの少なくとも一つが、第７実施形態の加工システムＳＹＳｇに特有の構成要件を備えていてもよい。第７実施形態の加工システムＳＹＳｇに特有の構成要件は、例えば、収斂位置制御動作に関する構成要件を含んでいてもよい。
【０１３４】
また、上述した説明では、加工システムＳＹＳｇは、フォーカス調整素子２１１１ｇを制御することで、造形面ＭＳと加工光ＥＬの収斂位置ＦＰとの相対的な位置関係を変更している。しかしながら、加工システムＳＹＳｇは、フォーカス調整素子２１１１ｇを制御することに加えて又は代えて、加工ヘッド２１及びステージ３１の少なくとも一方を移動させることで、造形面ＭＳと加工光ＥＬの収斂位置ＦＰとの相対的な位置関係を変更してもよい。
【０１３５】
（８）第８実施形態の加工システムＳＹＳ
続いて、図３１を参照しながら、第８実施形態の加工システムＳＹＳ（以降、“加工システムＳＹＳｈ”と称する）について説明する。図３１は、第８実施形態の加工システムＳＹＳｈのシステム構成を示すシステム構成図である。
【０１３６】
図３１に示すように、第８実施形態の加工システムＳＹＳｈは、上述した第１実施形態の加工システムＳＹＳａと比較して、加工装置２に代えて、加工装置２ｈを備えているという点で異なっている。加工システムＳＹＳｈのその他の特徴は、加工システムＳＹＳのその他の特徴と同一であってもよい。加工装置２ｈは、加工装置２と比較して、３次元計測装置２４ｈを備えているという点で異なっている。加工装置２ｈのその他の特徴は、加工装置２のその他の特徴と同一であってもよい。尚、３次元計測装置２４ｈは、チャンバ空間６３ＩＮを規定する隔壁部材６１に取り付けられていてもよい。３次元計測装置２４ｈは、隔壁部材６１とは独立したチャンバ空間６３ＩＮ内の構造体に取り付けられていてもよい。
【０１３７】
３次元計測装置２４ｈは、計測対象物の３次元形状を計測可能な計測装置である。計測対象物は、例えば、付加加工が行われる対象物であるワークＷを含んでいてもよい。３次元計測装置２４ｈの計測結果は、制御装置８に出力される。第８実施形態では、制御装置８は、３次元計測装置２４ｈの計測結果に基づいて、３次元構造物ＳＴを形成するための加工システムＳＹＳａの動作内容を示す上述したレシピ情報を生成してもよい。その後、加工システムＳＹＳｈは、３次元計測装置２４ｈの計測結果に基づいて生成されたレシピ情報に基づいて、ワークＷに対して付加加工を行ってもよい。
【０１３８】
このような３次元計測装置２４ｈの計測結果を用いてレシピ情報を生成する場面の一例として、一部が欠損、破損又は摩耗によって失われた物体Ｗ１に相当するワークＷに対して、欠損、破損又は摩耗によって失われた部分（以降、“消失部分Ｗ１１”と称する）に相当する３次元構造物ＳＴを形成する（具体的には、付加する）ことで、消失部分Ｗ１１が修復された（つまり、復元された）元の物体Ｗ２を生成する場面があげられる。以下、図３２から図３５を参照しながら、消失部分Ｗ１１が消失した物体Ｗ１に相当するワークＷに対して、消失部分Ｗ１１に相当する３次元構造物ＳＴを形成することで、元の物体Ｗ２を生成する動作の流れについて説明する。但し、任意の物体Ｗ１’に相当するワークＷに対して３次元構造物ＳＴを形成する（具体的には、付加する）ことで、物体Ｗ１’とは異なる３次元形状を有する任意の物体Ｗ２’を生成する場面においても、加工システムＳＹＳｈは、３次元計測装置２４ｈの計測結果を用いてレシピ情報を生成してもよい。このため、以下の説明において、「物体Ｗ１」及び「物体Ｗ２」という文言は、「物体Ｗ１’」及び「物体Ｗ２’」という文言に読み替えられてもよい。

【０１３９】
図３２は、消失部分Ｗ１１が消失した物体Ｗ１（図３２に示す例では、配管）に相当するワークＷを示す斜視図である。制御装置８は、このようなワークＷの３次元形状を計測した３次元計測装置２４ｈの計測結果から、物体Ｗ１の３次元形状を特定する。一方で、図３３は、元の物体Ｗ２（図３３に示す例では、配管）を示す斜視図である。制御装置８は、元の物体Ｗ２の３次元形状を示す３次元モデルデータから、元の物体Ｗ２の３次元形状を特定する。制御装置８は、３次元計測装置２４ｈによる物体Ｗ１の計測結果と元の物体Ｗ２の３次元形状を示す３次元モデルデータとに基づいて、付加加工によって形成するべき３次元構造物ＳＴの３次元形状（つまり、消失部分Ｗ１１の３次元形状）を算出する。具体的には、制御装置８は、３次元計測装置２４ｈの計測結果が示す物体Ｗ１の３次元形状と３次元モデルデータが示す元の物体Ｗ２の３次元形状との差分を算出することで、付加加工によって形成するべき３次元構造物ＳＴの３次元形状（つまり、消失部分Ｗ１１の３次元形状）を算出する。図３４は、図３２に示す物体Ｗ１の３次元形状と図３３に示す元の物体Ｗ２の３次元形状との差分を算出することで算出された、付加加工によって形成するべき３次元構造物ＳＴの３次元形状（つまり、消失部分Ｗ１１の３次元形状）を示している。

【０１４０】
その後、制御装置８は、付加加工によって形成するべき３次元構造物ＳＴの３次元形状に基づいて、レシピ情報を生成する。具体的には、制御装置８は、付加加工によって形成するべき３次元構造物ＳＴの３次元形状を示す３次元モデルデータを積層ピッチでスライス処理してスライスデータを作成する。その後、制御装置８は、スライスデータに基づいて、３次元構造物ＳＴを形成するための加工システムＳＹＳａの動作内容を示すレシピ情報を生成する。尚、レシピ情報については既に第１実施形態で説明済みであるため、その詳細な説明は省略する。

【０１４１】
その後、制御装置８は、生成したレシピ情報に基づいて付加加工を行うように、加工システムＳＹＳｈを制御する。その結果、図３５に示すように、消失部分Ｗ１１が、付加加工によって新たに形成された３次元構造物ＳＴによって補われた物体Ｗ３が生成される。つまり、消失部分Ｗ１１が消失した物体Ｗ１と新たに形成された３次元構造物ＳＴとが一体化された物体Ｗ３が生成される。

【０１４２】
物体Ｗ３は、レシピ情報に基づいた理想的な付加加工が行われた場合には、元の物体Ｗ２と同じ３次元形状を有する物体となる。このため、物体Ｗ３を生成することは、元の物体Ｗ２を再生成することと等価であるとみなしてもよい。つまり、物体Ｗ３を生成することは、一部が欠損、破損又は摩耗した物体Ｗ１を修復して元の物体Ｗ２を再生成することと等価であるとみなしてもよい。

【０１４３】
一方で、生成したレシピ情報に基づいた理想的な付加加工が行われない可能性もある。この場合、物体Ｗ３は、元の物体Ｗ２と異なる３次元形状を有する物体となる可能性がある。そこで、物体Ｗ３が元の物体Ｗ２を同じ３次元形状を有するか否かを判定するために、加工システムＳＹＳｈは、３次元計測装置２４ｈを用いて、物体Ｗ３の３次元形状を計測してもよい。この場合、加工装置２ｈ自身が３次元計測装置２４ｈを備えているがゆえに、付加加工によってステージ３１上で生成された物体Ｗ３は、ステージ３１上に載置されたままでよい。つまり、物体Ｗ３をステージ３１から移動させなくてもよい。その後、制御装置８は、３次元計測装置２４ｈによる物体Ｗ３の計測結果と元の物体Ｗ２の３次元形状を示す３次元モデルデータとに基づいて、物体Ｗ３が元の物体Ｗ２と同じ３次元形状を有するか否かを判定してもよい。具体的には、制御装置８は、３次元計測装置２４ｈの計測結果が示す物体Ｗ３の３次元形状と３次元モデルデータが示す元の物体Ｗ２の３次元形状との差分が許容閾値を下回っている場合には、物体Ｗ３が元の物体Ｗ２と同じ３次元形状を有すると判定してもよい。制御装置８は、３次元計測装置２４ｈの計測結果が示す

物体Ｗ３の３次元形状と３次元モデルデータが示す元の物体Ｗ２の３次元形状との差分が許容閾値を上回っている場合には、物体Ｗ３が元の物体Ｗ２と異なる３次元形状を有すると判定してもよい。

【０１４４】

物体Ｗ３が元の物体Ｗ２と異なる３次元形状を有すると判定された場合には、加工システムＳＹＳｈは、物体Ｗ３の３次元形状を元の物体Ｗ２の３次元形状と同じにするための加工を行ってもよい。

【０１４５】

例えば、物体Ｗ３を形成するために行われた付加加工による造形量が理想的な量に対して不足していた場合（つまり、付加加工によって形成された３次元構造物ＳＴが、消失部分Ｗ１１よりも小さかった場合）には、加工システムＳＹＳｈは、物体Ｗ３の少なくとも一部に対して更に付加加工を行うことで、物体Ｗ３の３次元形状を物体Ｗ２の３次元形状と同じにしてもよい。この場合、制御装置８は、３次元計測装置２４ｈの計測結果が示す物体Ｗ３の３次元形状と３次元モデルデータが示す元の物体Ｗ２の３次元形状との差分を算出することで、付加加工によって形成するべき３次元構造物ＳＴの３次元形状（つまり、物体Ｗ３の３次元形状を物体Ｗ２の３次元形状と同じにするために新たに形成するべき３次元構造物ＳＴの３次元形状）を算出してもよい。その後、制御装置８は、算出した３次元構造物ＳＴの３次元形状に基づいてレシピ情報を生成し、生成したレシピ情報に基づいて付加加工を行うように、加工システムＳＹＳｈを制御してもよい。

【０１４６】

例えば、物体Ｗ３を形成するために行われた付加加工による造形量が理想的な量に対して過剰であった場合（つまり、付加加工によって形成された３次元構造物ＳＴが、消失部分Ｗ１１よりも大きかった場合）には、加工システムＳＹＳｈは、物体Ｗ３の少なくとも一部を除去する除去加工を行うことで、物体Ｗ３の３次元形状を物体Ｗ２の３次元形状と同じにしてもよい。この場合、制御装置８は、３次元計測装置２４ｈの計測結果が示す物体Ｗ３の３次元形状と３次元モデルデータが示す元の物体Ｗ２の３次元形状との差分を算出することで、物体Ｗ３のうち除去加工によって除去するべき除去加工部分の３次元形状（つまり、物体Ｗ３の３次元形状を物体Ｗ２の３次元形状と同じにするために除去するべき部分の３次元形状）を算出してもよい。その後、制御装置８は、算出した除去加工部分を除去するためのレシピ情報を生成し、生成したレシピ情報に基づいて除去加工を行うように、加工システムＳＹＳｈを制御してもよい。尚、加工システムＳＹＳｈは、材料ノズル２１２から造形材料Ｍを供給することなく、照射光学系２１１から物体Ｗ３に対して物体Ｗ３を溶融又は昇華可能な強度を有する加工光ＥＬを照射することで、物体Ｗ３に対して除去加工を行ってもよい。

【０１４７】

物体Ｗ３を生成した後に、加工システムＳＹＳｈは、物体Ｗ３に対して仕上げ加工を行ってもよい。仕上げ加工は、例えば、物体Ｗ３の表面の少なくとも一部である平滑化対象面を平滑化する平滑化加工を含んでいてもよい。尚、第８実施形態における「平滑化対象面を平滑化する平滑化加工」は、平滑化加工を行う前と比較して、平滑化対象面の表面を滑らかにする、平滑化対象面の平坦度を上げる（つまり、平坦にする）、及び／又は、平滑化対象面の表面粗さを細かくする（つまり、小さくする）加工を含んでいてもよい。一例として、加工システムＳＹＳｈは、物体Ｗ３の表面に生じている意図しない凹凸等に対して加工光ＥＬを照射することで当該凹凸等を除去する除去加工を、平滑化加工として行ってもよい。他の一例として、加工システムＳＹＳｈは、物体Ｗ３の表面に生じている意図しない凹凸等に対して加工光ＥＬを照射することで当該凹凸を構成する造形材料Ｍを溶融させ、溶融した造形材料Ｍの自重及び／又は表面張力を利用して溶融した造形材料Ｍの表面を平面に近づけ、その後、溶融した造形材料Ｍを冷却して固化させることで表面を平滑化するリメルト加工を、平滑化加工として行ってもよい。或いは、仕上げ加工は、上述した平滑化加工に加えて又は代えて、物体Ｗ３の表面に加工光ＥＬを照射することで当該表面の色調を制御する（例えば、物体Ｗ３の表面の色調を、所望の色調に変更する）色調

制御加工を含んでいてもよい。

【０１４８】

消失部分Ｗ１１の３次元形状によっては、消失部分Ｗ１１に相当する３次元構造物ＳＴを付加加工によって形成することが容易ではない可能性がある。そこで、加工システムＳＹＳｈは、消失部分Ｗ１１に相当する３次元構造物ＳＴを付加加工によって形成する前に、消失部分Ｗ１１の３次元形状を、消失部分Ｗ１１に相当する３次元構造物ＳＴを適切に形成することが可能となる所望の３次元形状に変更するための加工を行ってもよい。具体的には、加工システムＳＹＳｈは、物体Ｗ１のうち消失部分Ｗ１１が消失することで外部に露出してしまった露出面ＷＳ１１（つまり、消失部分Ｗ１１に接続されていた部分であり、図３２参照）に対して上述した除去加工を行うことで、物体Ｗ１の３次元形状を変え、その結果、消失部分Ｗ１１の３次元形状を変えてもよい。例えば、加工システムＳＹＳｈは、図３２に示す物体Ｗ１の露出面ＷＳ１１に対して除去加工を行うことで、物体Ｗ１の３次元形状を変え、図３２に示す３次元形状から、図３６に示す３次元形状に変えてもよい。図３２及び図３６に示す例では、加工システムＳＹＳｈは、物体Ｗ１の３次元形状を変えることで、消失部分Ｗ１１の３次元形状を、相対的に複雑な３次元形状から、相対的にシンプルな３次元形状に変えている。

【０１４９】

物体Ｗ１の露出面ＷＳ１１の状態によっては、露出面ＷＳ１１に対して付加加工を行うことが容易ではない可能性がある。そこで、加工システムＳＹＳｈは、消失部分Ｗ１１に相当する３次元構造物ＳＴを付加加工によって形成する前に、露出面ＷＳ１１の状態を変えるための加工を行ってもよい。例えば、加工システムＳＹＳｈは、露出面ＷＳ１１に対して上述した除去加工を行うことで、露出面ＷＳ１１の状態を変えてもよい。例えば、加工システムＳＹＳｈは、露出面ＷＳ１１に対して上述した平滑化加工を行うことで、露出面ＷＳ１１の状態を変えてもよい。

【０１５０】

このような第８実施形態の加工システムＳＹＳｈは、上述した第１実施形態の加工システムＳＹＳａが享受可能な効果と同様の効果を享受しながら、３次元計測装置２４ｈの計測結果を用いて、理想的な３次元形状を有する物体を形成することができる。

【０１５１】

尚、第８実施形態の加工システムＳＹＳｈは、ノズル移動動作を行わなくてもよい。この場合、加工システムＳＹＳｈは、ノズル駆動系２３を備えていなくてもよい。

【０１５２】

上述した説明では、加工システムＳＹＳｈは、一部が欠損、破損又は摩耗によって失われた物体Ｗ１に相当するワークＷに対して、元の物体Ｗ２の形状を理想的な３次元形状に設定した上で、理想的な３次元形状を有する物体を形成していた。しかしながら、加工システムＳＹＳｈは、物体の性能を上げるために、理想的な３次元形状として、元の物体とは異なる形状の物体を形成してもよい。例えば、加工システムＳＹＳｈは、元の物体と異なる形状の物体を形成してもよいし、元の物体と同等の形状に所望の形状を付加してもよい。図３８は、ワークＷとしての配管を通過する流体を整流するためのフィンＷ６を備える物体Ｗ５を示す図である。図３８に示すように、整流するという新たな効果を達成するための構造（図３８に示す例では、フィンＷ６）を付加加工によって付加してもよい。

【０１５３】

また、上述した説明では、加工システムＳＹＳｈは、付加加工を行うための加工光ＥＬを用いて、仕上げ加工、除去加工及び平滑化加工の少なくとも一つを行っている。しかしながら、加工システムＳＹＳｈは、付加加工を行うための加工光ＥＬとは異なる加工光を用いて、仕上げ加工、除去加工及び平滑化加工の少なくとも一つを行ってもよい。この場合、加工システムＳＹＳｈは、仕上げ加工、除去加工及び平滑化加工の少なくとも一つを行うための加工光を照射するための照射光学系を備えていてもよい。或いは、加工システムＳＹＳｈは、工具を用いて、仕上げ加工、除去加工及び平滑化加工の少なくとも一つを行ってもよい。つまり、加工システムＳＹＳｈは、仕上げ加工、除去加工及び平滑化加工

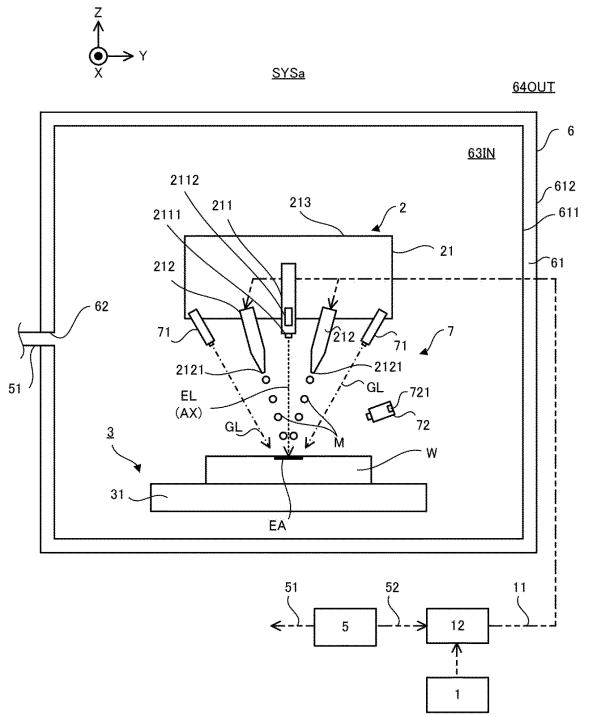
の少なくとも一つとして、機械加工を行ってもよい。
【０１５４】
また、上述した第２実施形態の加工システムＳＹＳｂから第７実施形態の加工システムＳＹＳｇの少なくとも一つが、第８実施形態の加工システムＳＹＳｈに特有の構成要件を備えていてもよい。第８実施形態の加工システムＳＹＳｈに特有の構成要件は、例えば、３次元計測装置２４ｈに関する構成要件を含んでいてもよい。
【０１５５】
（９）変形例
上述したノズル移動動作によって材料ノズル２１２とワークＷとが接触する可能性がある場合には、ノズル駆動系２３は、制御装置８の制御下で、材料ノズル２１２の移動を停止してもよい。その結果、材料ノズル２１２とワークＷとの接触が防止される。
【０１５６】
上述した説明では、加工システムＳＹＳは、造形材料Ｍに加工光ＥＬを照射することで、造形材料Ｍを溶融させている。しかしながら、加工システムＳＹＳは、任意のエネルギービームを造形材料Ｍに照射することで、造形材料Ｍを溶融させてもよい。この場合、加工システムＳＹＳは、照射光学系２１１に加えて又は代えて、任意のエネルギービームを照射可能なビーム照射装置を備えていてもよい。任意のエネルギービームの一例として、荷電粒子ビーム及び電磁波等の少なくとも一つがあげられる。荷電粒子ビームの一例として、電子ビーム及びイオンビーム等の少なくとも一つがあげられる。
【０１５７】
上述した説明では、加工システムＳＹＳは、レーザ肉盛溶接法により付加加工を行っている。しかしながら、加工システムＳＹＳは、造形材料Ｍに加工光ＥＬ（或いは、任意のエネルギービーム）を照射することで３次元構造物ＳＴを形成可能なその他の方式により造形材料Ｍから３次元構造物ＳＴを形成してもよい。或いは、加工システムＳＹＳは、造形材料Ｍに加工光ＥＬ（或いは、任意のエネルギービーム）を照射する方式とは異なる、付加加工のための任意の方式により３次元構造物ＳＴを形成してもよい。
【０１５８】
（１０）付記
以上説明した実施形態に対して、更に以下の付記を開示する。
［付記１］
物体にエネルギービームを照射することと、
材料供給部材から、前記エネルギービームで照射される造形材料を供給することと、
前記物体の表面の高さに関する情報を取得することと、
前記物体の表面の高さに関する情報に基づいて、前記材料供給部材と前記物体の表面との間の距離を変更することと
を含む加工方法。
［付記２］
物体にエネルギービームを照射することと、
材料供給部材から、前記エネルギービームで照射される造形材料を供給することと、
前記物体の表面の高さに関する情報を取得することと、
前記物体の表面の高さに関する情報に基づいて、前記材料供給部材の方向を変化させることと
を含む加工方法。
［付記３］
物体にエネルギービームを照射することと、
前記エネルギービームで照射される造形材料を供給することと、
前記物体の表面の高さに関する情報を取得することと、
前記物体の表面の高さに関する情報に基づいて、前記造形材料の供給量を変更する材料供給制御装置と
を含む加工方法。

［付記４］
物体にエネルギービームを照射することと、
材料供給部材から、前記エネルギービームで照射される造形材料を供給することと、
前記物体の表面の位置に関する情報を取得することと、
前記物体の表面の位置に関する情報に基づいて、前記材料供給部材を制御することと
を含む加工方法。
［付記５］
物体にエネルギービームを照射することと、
材料供給部材から、前記エネルギービームで照射される造形材料を供給することと、
前記物体の表面の高さが所望の高さよりも低い場合に、前記材料供給部材と前記物体の表面との間の距離を長くするよう変更することと
を含む加工方法。
［付記６］
物体にエネルギービームを照射することと、
材料供給部材から、前記エネルギービームで照射される造形材料を供給することと、
前記物体の表面の高さが所望の高さよりも低い場合に、前記材料供給部材によって供給される前記造形材料の集中領域と前記物体の表面との間の距離を長くするよう変更することと
を含む加工方法。
［付記７］
物体にエネルギービームを照射することと、
前記エネルギービームで照射される造形材料を供給することと、
前記物体の表面の高さが所望の高さよりも低い場合の前記造形材料の集中領域が、前記物体の表面の高さが前記所望の高さよりも高い場合の前記集中領域よりも上に位置するように制御することと
を含む加工方法。
［付記８］
物体にエネルギービームを照射することと、
前記エネルギービームで照射される造形材料を供給することと、
前記物体の表面の位置に関する情報を取得することと、
前記物体の表面の位置に関する情報に基づいて、前記エネルギービームの収斂位置を変更することと
を含む加工方法。
【０１５９】
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よい。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。
【０１６０】
本発明は、上述した実施例に限られるものではなく、特許請求の範囲及び明細書全体から読み取れる発明の要旨或いは思想に反しない範囲で適宜変更可能であり、そのような変更を伴う加工システムもまた本発明の技術的範囲に含まれるものである。
【符号の説明】
【０１６１】
ＳＹＳ　加工システム
１　材料供給源
２　加工装置
２１　加工ヘッド
２１１　照射光学系
２１２　材料ノズル

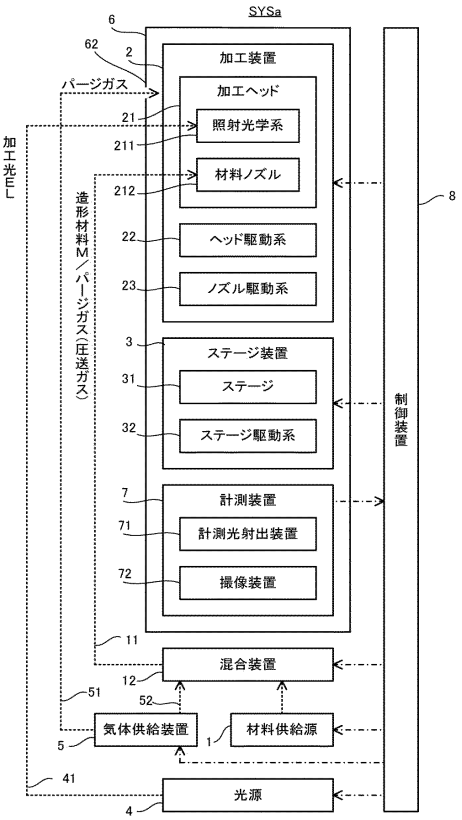
２２　ヘッド駆動系
２３　ノズル駆動系
３　ステージ装置
３１　ステージ
７　計測装置
８　制御装置
Ｗ　ワーク
Ｍ　造形材料
ＳＬ　構造層
ＭＳ　造形面
ＭＰ　溶融池
ＥＬ　加工光

【図面】

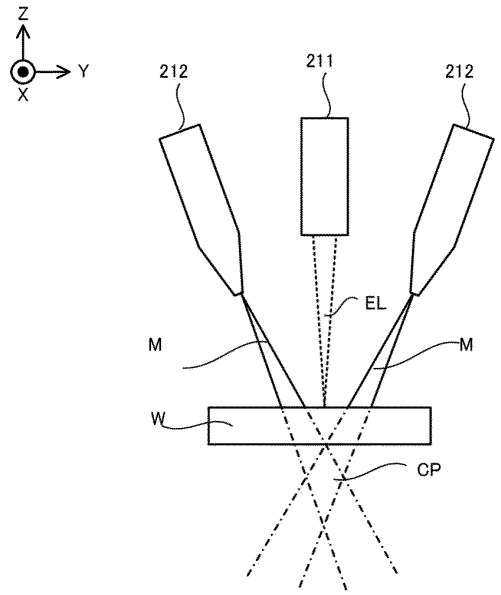
【図１】



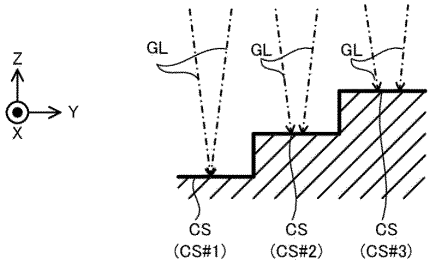
【図２】



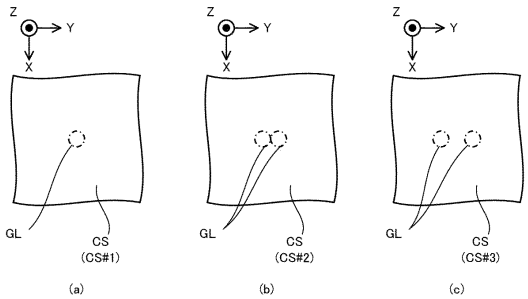
【図３】


Z
Y
X
212
211
212
EL
M
M
W
CP

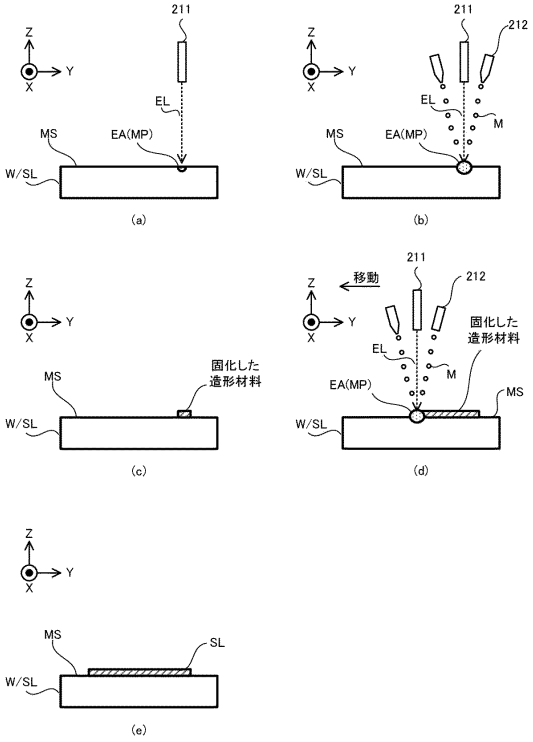
【図４】


Z
Y
X
GL
GL
GL
CS
(CS#1)
CS
(CS#2)
CS
(CS#3)

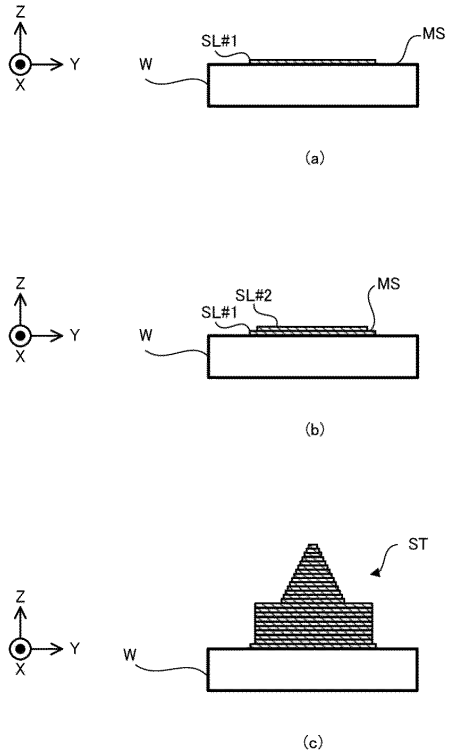
【図５】


Z
Y
X
GL
CS
(CS#1)
(a)
Z
Y
X
GL
CS
(CS#2)
(b)
Z
Y
X
GL
CS
(CS#3)
(c)

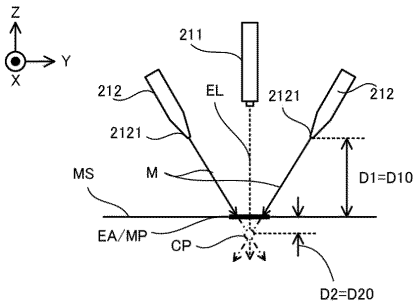
【図６】


Z
Y
X
211
EL
MS
EA(MP)
W/SL
(a)
211
212
EL
M
MS
EA(MP)
W/SL
(b)
移動
固化した
造形材料
(c)
(d)
MS
SL
W/SL
(e)

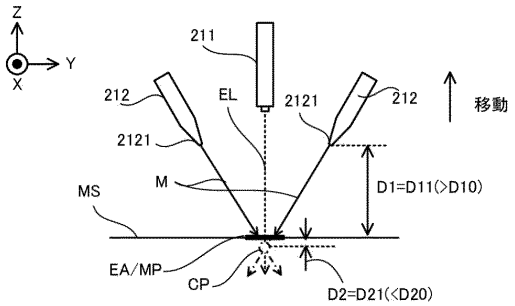
【図７】


Z
Y
X
W
SL#1
MS
(a)
SL#2
(b)
ST
(c)

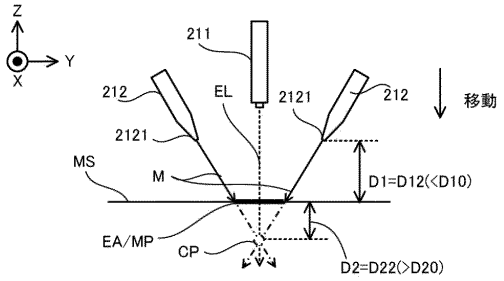
【図８】


Z
Y
X
211
212
EL
2121
2121
MS
M
D1=D10
EA/MP
CP
D2=D20

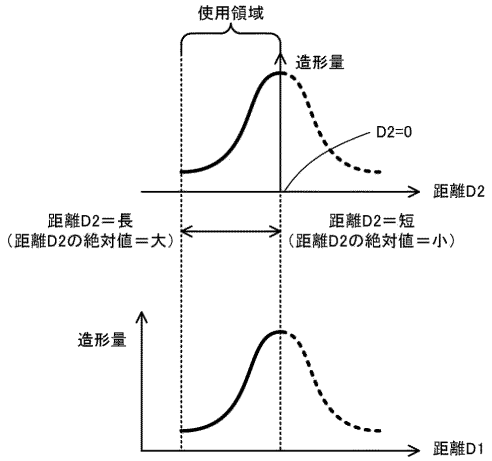
【図９】


Z
Y
X
211
212
EL
2121
212
移動
2121
M
MS
D1=D11(>D10)
EA/MP
CP
D2=D21(<D20)

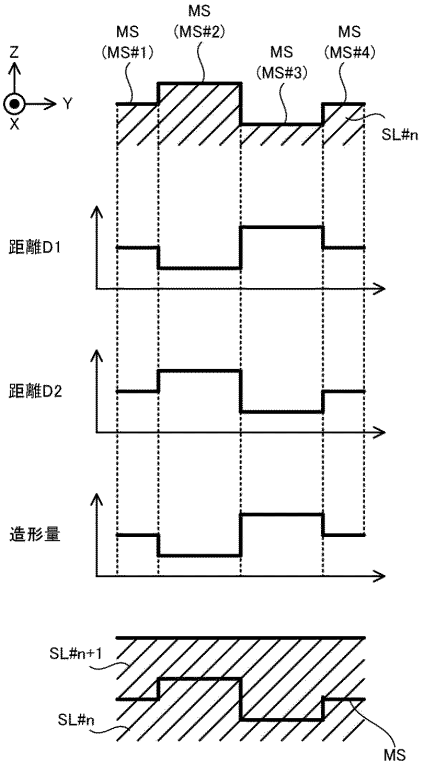
【図１０】


Z
Y
X
211
212
EL
2121
212
移動
2121
MS
M
D1=D12(<D10)
EA/MP
CP
D2=D22(>D20)

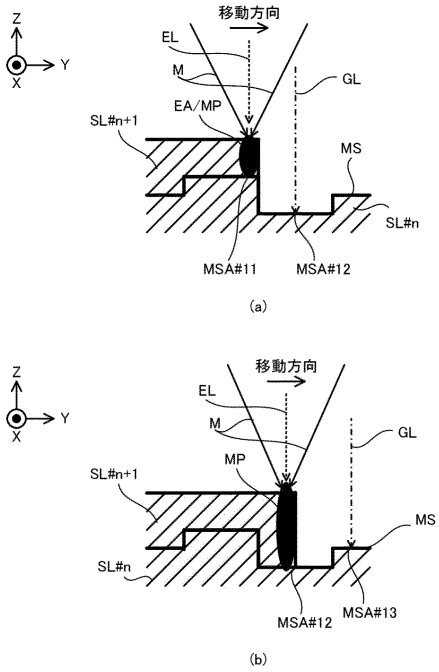
【図１１】



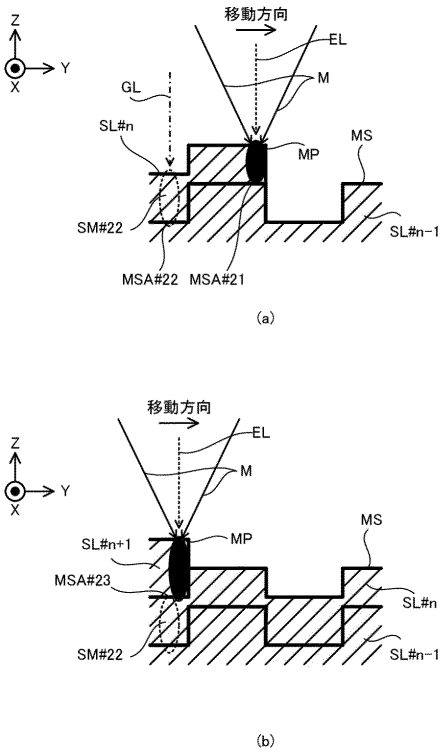
【図１２】



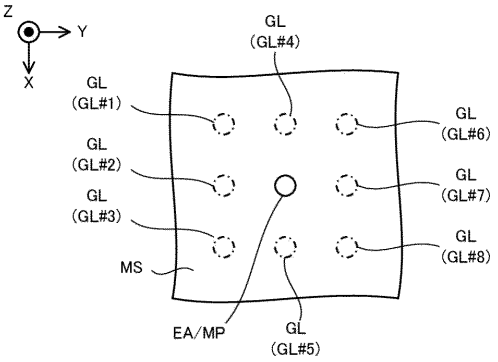
【図１３】



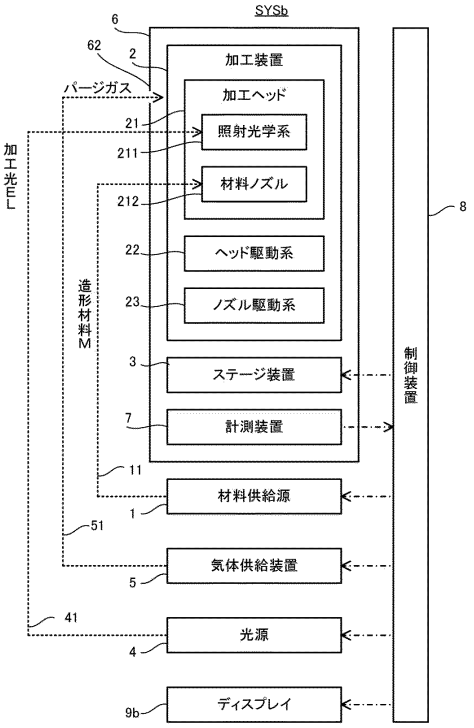
【図１４】



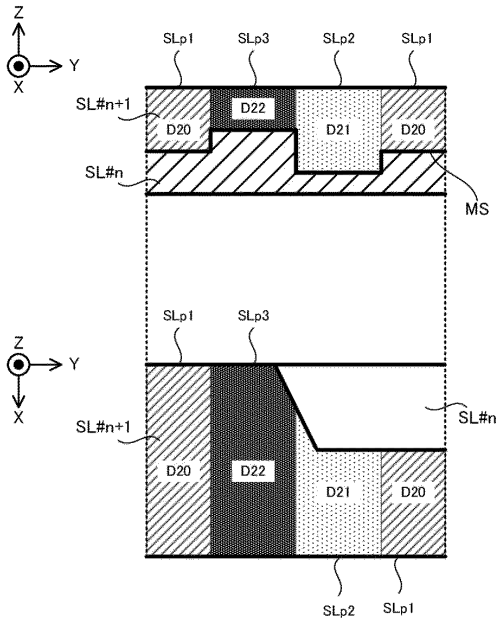
【図１５】



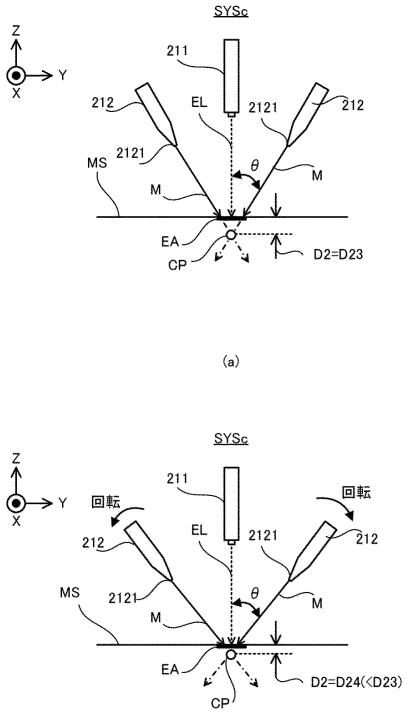
【図１６】



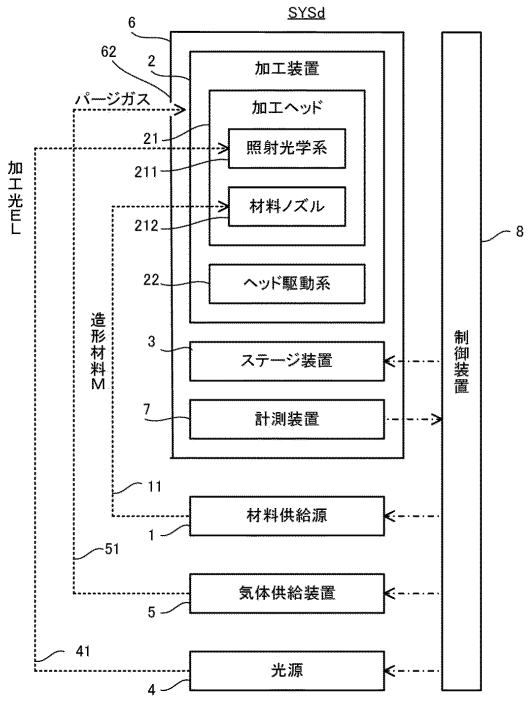
【図１７】



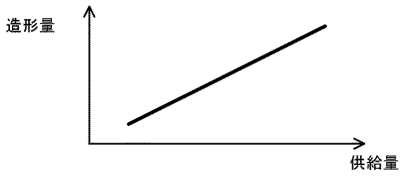
【図１８】



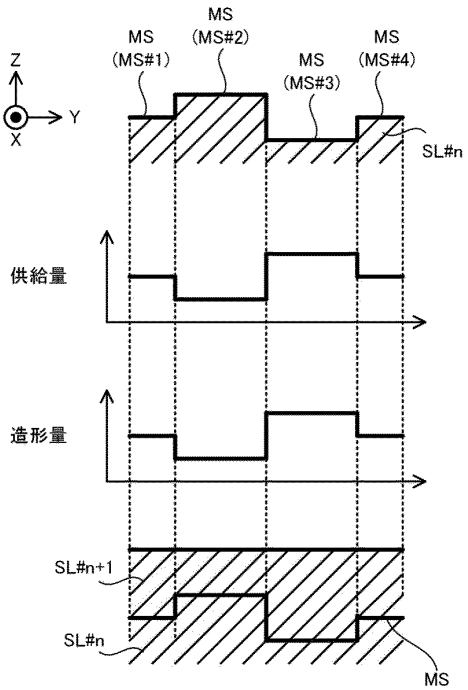
【図１９】



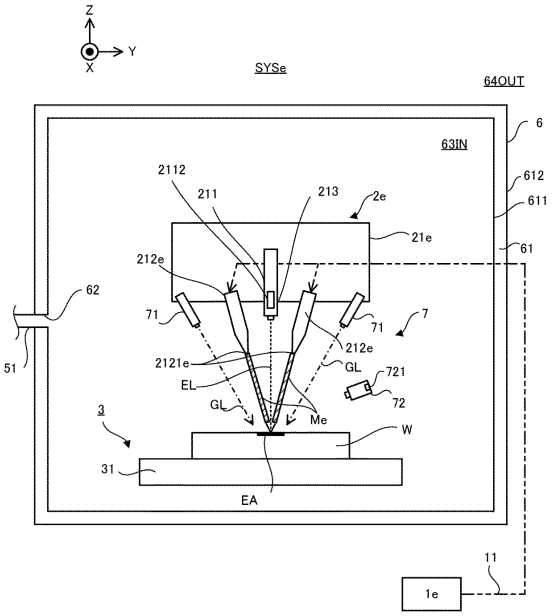
【図２０】



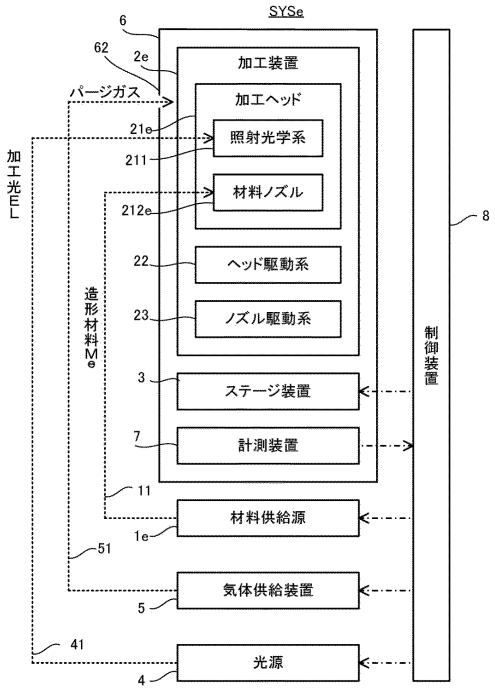
【図２１】



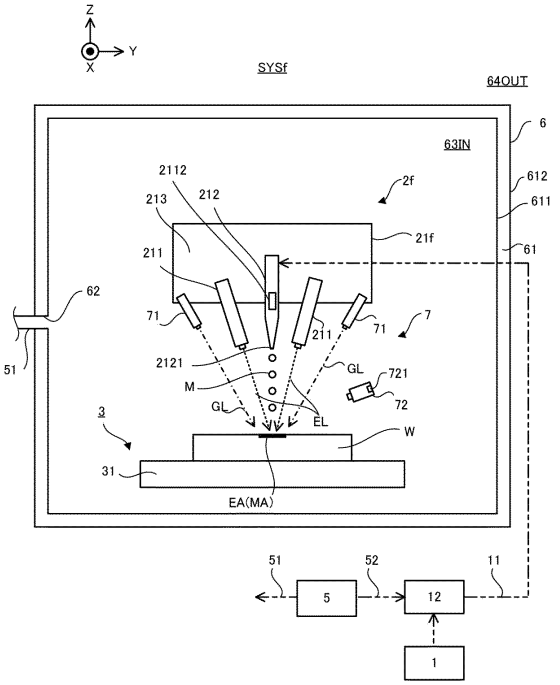
【図２２】



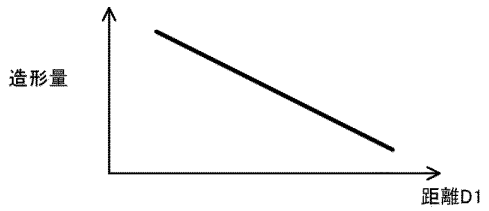
【図２３】



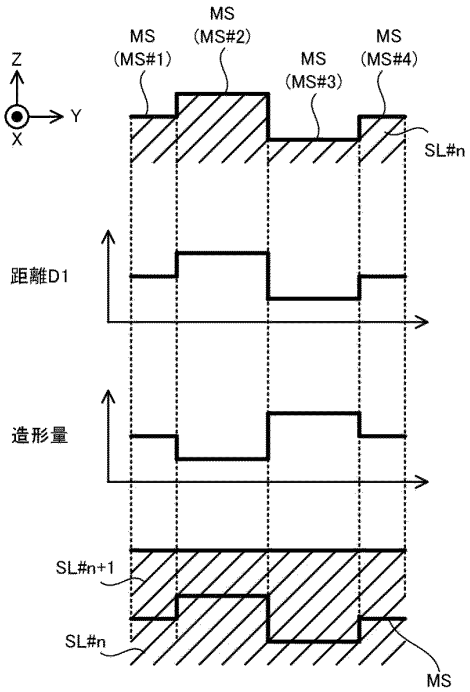
【図２４】



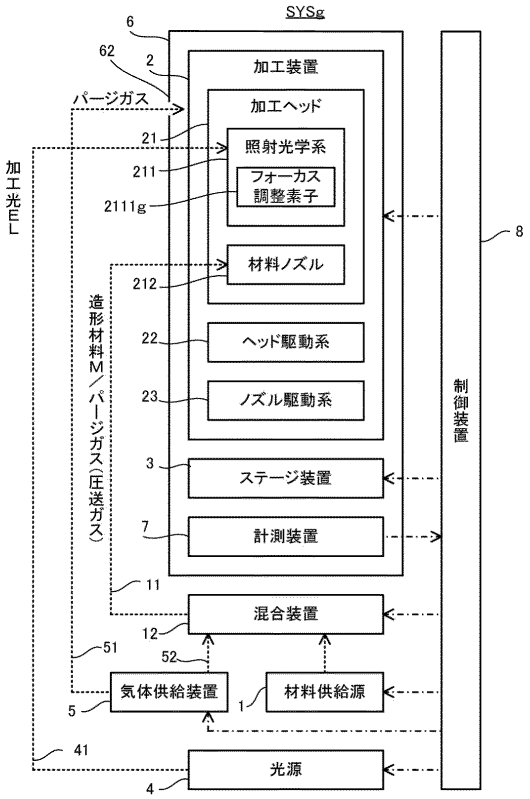
【図２５】



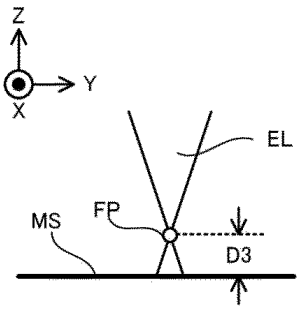
【図２６】



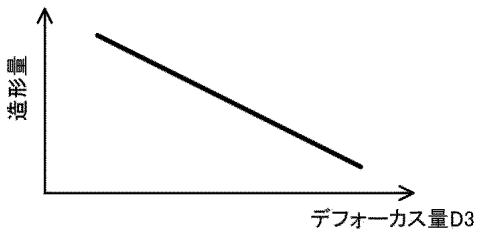
【図２７】



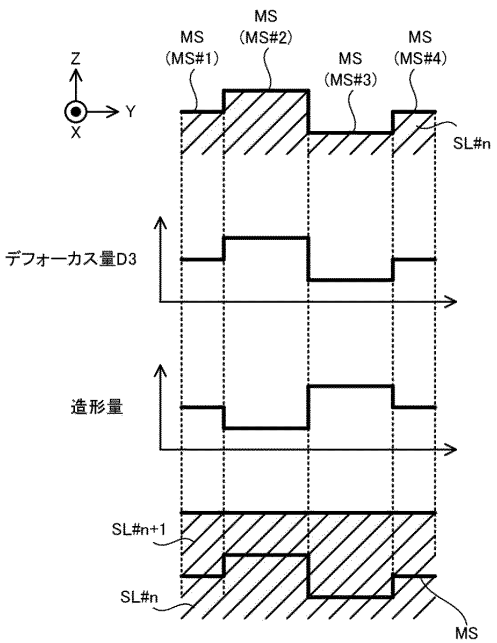
【図２８】



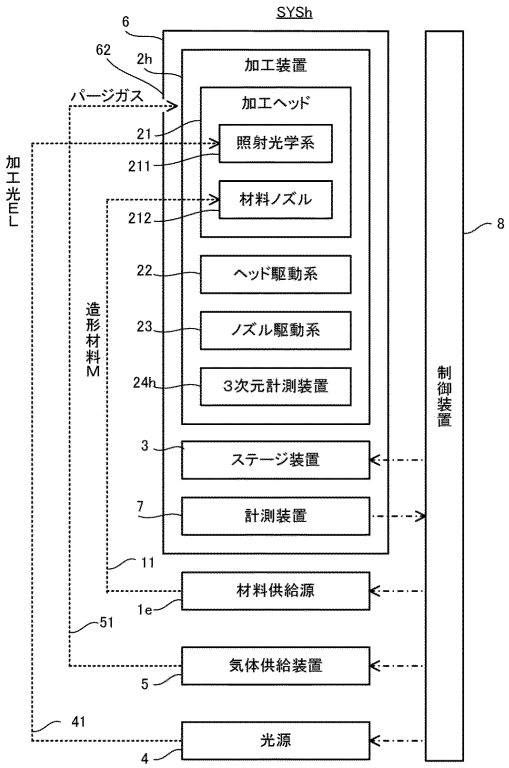
【図２９】



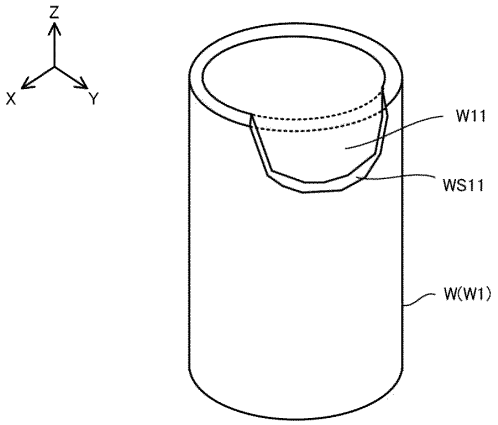
【図３０】



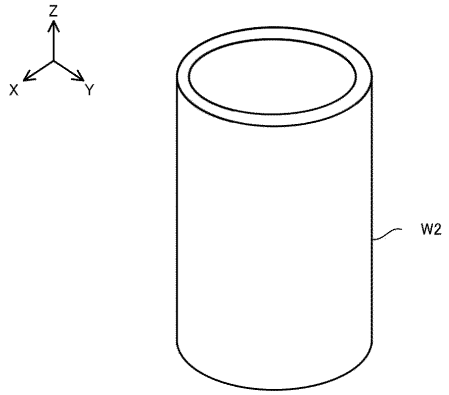
【図３１】



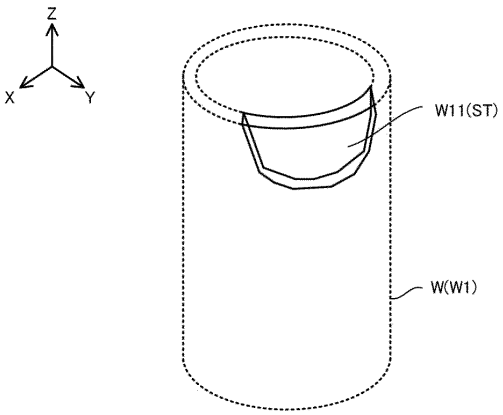
【図３２】



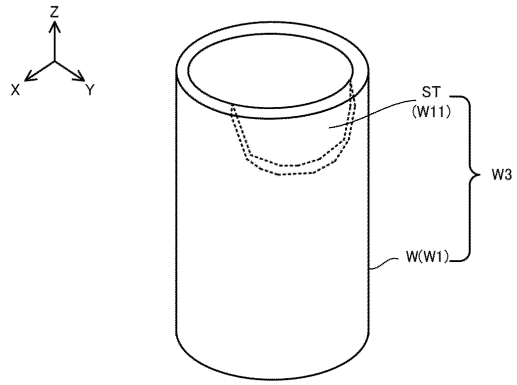
【図３３】



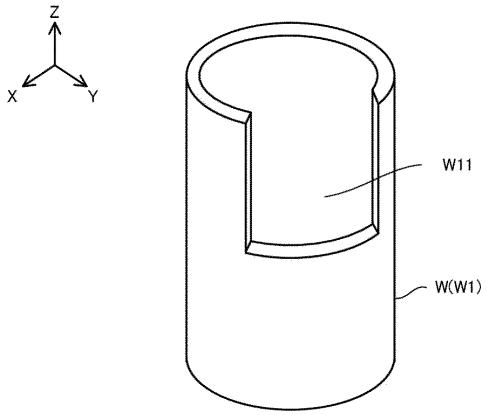
【図３４】



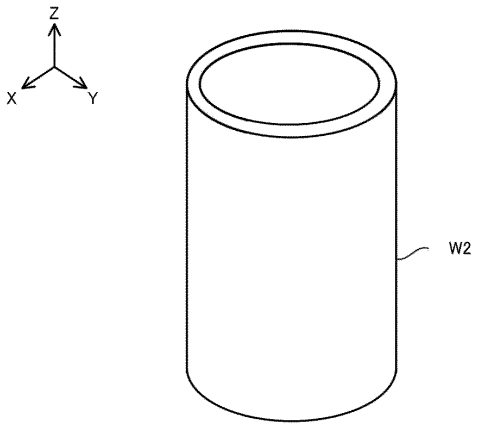
【図３５】



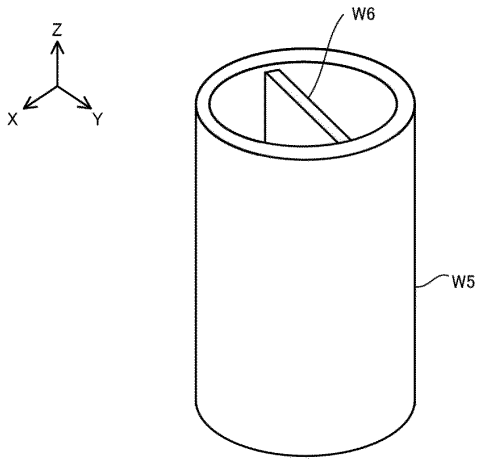
【図３６】



【図３７】



【図３８】



フロントページの続き

ニア州ベルモントショアウェイロード１３９９ ニコン・リサーチ・コーポレーション・オブ・アメリカ内
(72)発明者 マイケル バーク ビナード
アメリカ合衆国 ９４００２ カリフォルニア州ベルモントショアウェイロード１３９９ ニコン・リサーチ・コーポレーション・オブ・アメリカ内

審査官 黒石 孝志

(56)参考文献
特開平０９－２３９５７５（ＪＰ，Ａ）
中国特許出願公開第１０８７２３３６４（ＣＮ，Ａ）
米国特許出願公開第２０２０／００３８９５４（ＵＳ，Ａ１）
特開２０１５－１９６２６４（ＪＰ，Ａ）
米国特許第６６０５７９５（ＵＳ，Ｂ１）
特開２０２０－６９６６２（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｂ２３Ｋ ２６／００ － ２６／７０
Ｂ３３Ｙ １０／００ － ５０／０２