

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年9月19日(19.09.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/189768 A1

- (51) 国際特許分類:
B23K 26/34 (2014.01) B23K 26/21 (2014.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/009803
- (22) 国際出願日: 2023年3月14日(14.03.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1086290 東京都港区港南二丁目15番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 船津 貴行 (FUNATSU, Takayuki); 〒1086290 東京都港区港南二丁目15番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 村田 啓通 (MURATA, Hiromichi); 〒1086290 東京都港区港南二丁目15番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 飯田 崇一郎 (IIDA, Souichiro); 〒1086290 東京都港区港南二丁目15番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 道井 亮介 (DOI, Ryosuke); 〒1086290 東京都港区港

南二丁目15番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 長坂 博之 (NAGASAKA, Hiroyuki); 〒1086290 東京都港区港南二丁目15番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).

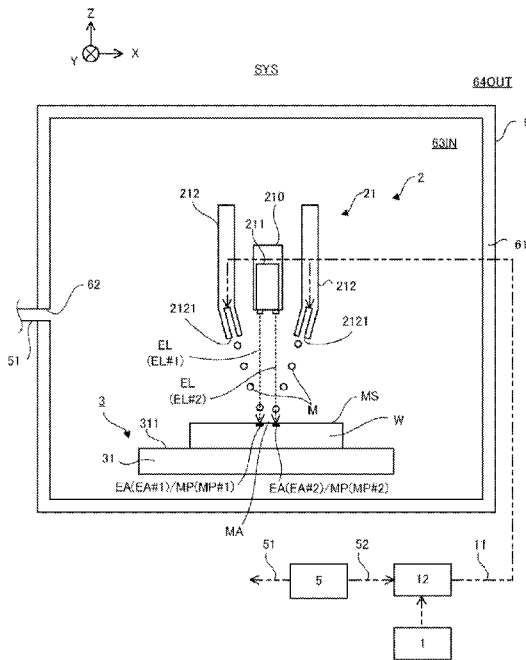
(74) 代理人: 江上 達夫 (EGAMI, Tatsuo); 〒1040031 東京都中央区京橋一丁目16番10号 V P O 京橋3階 東京セントラル特許事務所内 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,

(54) Title: PROCESSING SYSTEM AND PROCESSING METHOD

(54) 発明の名称: 加工システム及び加工方法

[図1]



(57) Abstract: This processing system comprises: a processing device that melts a material supplied from a supply member by using a beam emitted from an irradiation device, thereby molding a molded article on an object; and a control device that is capable of controlling the processing device. The supply member supplies the material to a supply region in a plane intersecting the optical axis of the irradiation device in a space between the supply member and the object. The control of the processing device performed by the control device includes controlling the beam path of the beam from the radiation device on the basis of at least one of the shape or the size of the supply region.

(57) 要約: 加工システムは、供給部材から供給された材料を照射装置から射出されたビームで熔融することで、物体上に造形物を造形する加工装置と、加工装置を制御可能な制御装置とを備え、供給部材は、供給部材と物体との間の空間において照射装置の光軸と交差する面内の供給領域に材料を供給し、制御装置による加工装置の制御は、供給領域の形状及びサイズの少なくとも一方に基づく、照射装置からのビームのビーム経路の制御を含む加工システム。

WO 2024/189768 A1

SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：加工システム及び加工方法

技術分野

[0001] 本発明は、例えば、物体を加工可能な加工システム及び加工方法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の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] 特許文献1：米国特許出願公開第2016/0311059号明細書

発明の概要

[0004] 第1の態様によれば、造形材料を供給する材料供給部材と、エネルギービームを射出する照射装置とを備え、前記材料供給部材から供給された前記造形材料を前記照射装置から射出された前記エネルギービームで溶融することで、物体上に造形物を造形する付加加工を行う加工装置と、前記加工装置を制御可能な制御装置とを備え、前記材料供給部材は、前記材料供給部材と前記物体との間の空間において前記照射装置の光軸と交差する面内の材料供給領域に前記造形材料を供給し、前記制御装置による前記加工装置の制御は、前記材料供給領域の形状及びサイズの少なくとも一方に基づく、前記照射装置からの前記エネルギービームのビーム経路の制御を含む加工システムが提供される。

第2の態様によれば、造形材料を供給する材料供給部材と、エネルギービームを射出する照射装置とを備え、前記材料供給部材から供給された前記造形材料を前記照射装置から射出された前記エネルギービームで溶融することで、物体上に造形物を造形する付加加工を行う加工装置と、前記加工装置を制御

可能な制御装置とを備え、前記材料供給部材は、前記材料供給部材と前記物体との間の空間において前記照射装置の光軸と交差する面内の材料供給領域に前記造形材料を供給し、前記制御装置は、前記エネルギービームの照射態様に基づいて、前記材料供給部材からの前記造形材料の供給態様を制御する加工システムが提供される。

第3の態様によれば、造形材料を供給する材料供給部材と、エネルギービームを射出する照射装置とを備え、前記材料供給部材から供給された前記造形材料を前記照射装置から射出された前記エネルギービームで溶融することで、物体上に造形物を造形する付加加工を行う加工装置と、前記加工装置を制御可能な制御装置とを備え、前記制御装置は、前記材料供給部材と前記物体との間の空間に供給された前記造形材料に前記エネルギービームを照射することで前記造形材料を溶融し、溶融した前記造形材料を前記物体に供給することで前記物体上に前記造形物を造形するように、前記加工装置を制御し、前記制御装置は、前記空間に供給される前記造形材料の供給態様に基づいて、前記造形材料に照射される前記エネルギービームを制御する加工システム加工システムが提供される。

第4の態様によれば、造形材料を供給する材料供給部材と、エネルギービームを射出する照射装置とを備え、前記材料供給部材から供給された前記造形材料を前記照射装置から射出された前記エネルギービームで溶融することで、物体上に造形物を造形する付加加工を行う加工装置と、前記加工装置を制御可能な制御装置とを備え、前記材料供給部材は、前記材料供給部材と前記物体との間の空間において前記照射装置の光軸と交差する面内の材料供給領域に前記造形材料を供給し、前記制御装置による前記加工装置の制御は、前記材料供給領域の形状及びサイズの少なくとも一方に基づ、前記照射装置からの前記エネルギービームの照射の制御を含む加工システムが提供される。

第5の態様によれば、材料供給部材から造形材料を供給することと、照射装置からエネルギービームを射出することと、前記材料供給部材から供給された前記造形材料を前記照射装置から射出された前記エネルギービームで溶融し

て、物体上に造形物を造形する付加加工を行うこととを含み、前記造形材料を供給することは、前記材料供給部材と前記物体との間の空間において前記照射装置の光軸と交差する面内の材料供給領域に前記造形材料を供給することを含み、前記付加加工を行うことは、前記材料供給領域の形状及びサイズの少なくとも一方に基づいて、前記照射装置からの前記エネルギービームのビーム経路を設定することを含む加工方法が提供される。

第6の態様によれば、材料供給部材から造形材料を供給することと、照射装置からエネルギービームを射出することと、前記材料供給部材から供給された前記造形材料を前記照射装置から射出された前記エネルギービームで溶融して、物体上に造形物を造形する付加加工を行うこととを含み、前記造形材料を供給することは、前記材料供給部材と前記物体との間の空間において前記照射装置の光軸と交差する面内の材料供給領域に前記造形材料を供給することと、前記エネルギービームの態様に基づいて、前記材料供給部材からの前記造形材料の供給態様を設定することを含む加工方法が提供される。

第7の態様によれば、材料供給部材から造形材料を供給することと、照射装置からエネルギービームを射出することと、前記材料供給部材と前記物体との間の空間において前記材料供給部材から供給された前記造形材料を前記照射装置から射出された前記エネルギービームで溶融して、物体上に造形物を造形する付加加工を行うこととを含み、前記付加加工を行うことは、前記空間に供給される前記造形材料の態様に基づいて、前記造形材料に照射される前記エネルギービームを設定することを含む加工方法が提供される。

第8の態様によれば、材料供給部材から造形材料を供給することと、照射装置からエネルギービームを射出することと、前記材料供給部材から供給された前記造形材料を前記照射装置から射出された前記エネルギービームで溶融して、物体上に造形物を造形する付加加工を行うこととを含み、前記造形材料を供給することは、前記材料供給部材と前記物体との間の空間において前記照射装置の光軸と交差する面内の材料供給領域に前記造形材料を供給することを含み、前記付加加工を行うことは、前記材料供給領域の形状及びサイズ

の少なくとも一方に基づいて、前記照射装置からの前記エネルギービームの照射を制御することを含む加工方法が提供される。

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

- [0005] [図1]図1は、本実施形態の加工システムの構成を示す断面図である。
- [図2]図2は、本実施形態の加工システムの構成を示すブロック図である。
- [図3]図3は、材料ノズルの下面を示す平面図である。
- [図4]図4(a)から図4(c)のそれぞれは、材料供給面内の材料供給領域の一例を示す平面図である。
- [図5]図5は、照射光学系の構造を示す断面図である。
- [図6]図6(a)は、加工単位領域内での目標照射領域の移動軌跡を示す平面図であり、図6(b)は、造形面上での目標照射領域の移動軌跡を示す平面図である。
- [図7]図7(a)及び図7(b)のそれぞれは、加工単位領域内での目標照射領域の移動軌跡を示す平面図であり、図7(c)は、造形面上での目標照射領域の移動軌跡を示す平面図である。
- [図8]図8(a)から図8(e)のそれぞれは、第1造形動作によって構造層を造形する過程を示す断面図である。
- [図9]図9(a)から図9(c)のそれぞれは、三次元構造物を造形する過程を示す断面図である。
- [図10]図10(a)から図10(d)のそれぞれは、第2造形動作によって構造層を造形する過程を示す断面図である。
- [図11]図11は、材料照射面を通過する加工光を示す。
- [図12]図12(a)、図12(c)及び図12(d)のそれぞれは、加工単位領域内での目標照射領域の移動軌跡を示す平面図であり、図12(b)及び図12(e)のそれぞれは、造形面上での目標照射領域の移動軌跡を示す平面図である。

[図13]図13(a)から図13(c)のそれぞれは、材料供給領域と照射単位領域との関係を示す平面図である。

[図14]図14(a)は、第1造形動作を行う加工ヘッドの一例を示す断面図であり、図14(b)は、第2造形動作を行う加工ヘッドの一例を示す断面図である。

[図15]図15は、材料制御点を制御する動作の一例を示す断面図である。

[図16]図16は、材料制御点を制御する動作の一例を示す断面図である。

[図17]図17(a)は、第1及び第2造形動作との双方を行うことで造形される構造層を示す平面図であり、図17(b)は、第1造形動作を行うことで造形される構造層の一部(外壁造形物)を示す平面図であり、図17(c)は、第2造形動作を行うことで造形される構造層の他の一部(充填造形物)を示す平面図である。

[図18]図18(a)は、第1及び第2造形動作との双方を行うことで造形される構造層を示す平面図であり、図18(b)は、第1及び第2造形動作との双方を行うことで造形される構造層を示す断面図である。

[図19]図19は、第1及び第2造形動作との双方を行うことで構造層を造形するために変更される加工光を示す断面図である。

[図20]図20は、第1及び第2造形動作との双方を行うことで造形された三次元構造物を示す断面図である。

[図21]図21(a)は、ワークから三次元構造物を分離する分離装置を概念的に示し、図21(b)は、ワークから分離される三次元構造物を示す。

[図22]図22は、第1の用途で用いられる加工光と、第2の用途で用いられる加工光とを示す断面図である。

[図23]図23は、第1の用途で用いられる加工光と、第2の用途で用いられる加工光とを示す断面図である。

[図24]図24は、第1の用途で用いられる加工光と、第2の用途で用いられる加工光とを示す断面図である。

[図25]図25は、温度分布が制御された造形材料が供給されたワークを示す

断面図である。

[図26]図26(a)及び図26(b)のそれぞれは、造形材料が供給される材料供給領域と、ビーム通過領域の移動軌跡との関係を示す。

[図27]図27(a)及び図27(b)のそれぞれは、造形材料が供給される材料供給領域と、ビーム通過領域の移動軌跡との関係を示す。

[図28]図28(a)及び図28(b)のそれぞれは、造形材料が供給される材料供給領域と、ビーム通過領域の移動軌跡との関係を示す。

[図29]図29(a)及び図29(b)のそれぞれは、光源を制御することで実現されるビーム通過領域の実質的な移動軌跡を示す。

[図30]図30は、加工光の数とビーム通過領域のサイズとビーム通過領域の移動速度との関係を示す。

[図31]図31は、加工光の照射によって溶融した造形材料に発生する反跳力を示す。

[図32]図32は、造形面上での造形材料の供給量の分布を示す。

[図33]図33(a)は、材料供給領域と照射単位領域との関係を示す断面図であり、図33(b)は、材料供給領域と照射単位領域との関係を示す平面図である。

[図34]図34は、材料供給領域と照射単位領域との関係を示す断面図である。

[図35]図35は、材料供給領域のサイズを制御する動作の一例を示す断面図である。

[図36]図36(a)及び図36(b)のそれぞれは、計測装置を示す断面図である。

[図37]図37は、材料供給領域のサイズを制御する動作の一例を示す断面図である。

[図38]図38は、加工システムが備える撮像装置を示す断面図である。

[図39]図39は、加工システムが備える撮像装置を示す断面図である。

[図40]図40は、材料画像に基づく溶融材料フィードバック制御動作の流れ

を示すフローチャートである。

[図41]図41は、熔融材料画像を示す。

[図42]図42は、複数の熔融材料画像を加算する（つまり、合成する）ことで生成される加算画像を示す。

[図43]図43は、熔融材料領域のサイズと目標サイズとの関係を示すタイミングチャートである。

[図44]図44は、加工システムが備える撮像装置を示す断面図である。

[図45]図45（a）は、撮像装置の撮像タイミングを示すタイミングチャートであり、図45（b）は、撮像装置の露光時間を示すタイミングチャートであり、図45（c）は、撮像装置の撮像周期及び撮像レートを示すタイミングチャートである。

[図46]図46は、加工単位領域内に造形される所望の形状パターンを有する造形物を示す平面図である。

[図47]図47（a）から図47（b）のそれぞれは、加工単位領域内に造形される所望の形状パターンを有する造形物を示す平面図である。

[図48]図48は、加工単位領域内において所望の形状パターンを有する造形物を造形しながら、造形面上において加工単位領域を移動させることで造形される造形物を示す平面図である。

[図49]図49は、加工単位領域内において所望の形状パターンを有する造形物を造形しながら、造形面上において加工単位領域を移動させることで造形される造形物を示す平面図である。

[図50]図50は、加工単位領域内において所望の形状パターンを有する造形物を造形しながら、造形面上において加工単位領域を移動させることで造形される造形物を示す平面図である。

[図51]図51は、造形面上に造形すべき造形物の実際の形状パターンと、造形面上に造形すべき造形物の実際の形状パターンを、加工単位領域の移動方向に沿って圧縮することで得られる形状パターンとを示す平面図である。

。

[図52]図52は、造形面上に造形すべき造形物の実際の形状パターンと、造形面上に造形すべき造形物の実際の形状パターンを、造形面上に造形される造形物の形状パターンに生ずる歪みを相殺することが可能な変形態様で変形することで得られる形状パターンとを示す平面図である。

[図53]図53(a)は、加工単位領域の目標移動軌跡を示す平面図であり、図53(b)は、図53(a)に示す目標移動軌跡に沿って加工単位領域が移動した場合に造形面に造形される線状の造形物を示す平面図である。

[図54]図54(a)は、構造層を示す平面図であり、図54(b)は、図54(a)に示す構造層を造形するように加工単位領域の幅を変更する動作を示す平面図である。

[図55]図55(a)は、構造層を示す平面図であり、図55(b)は、図55(a)に示す構造層を造形するように加工単位領域の幅を変更する動作を示す平面図である。

[図56]図56(a)から図56(c)のそれぞれは、材料ノズルの一例を示す側面図である。

発明を実施するための形態

[0006] 以下、図面を参照しながら、加工システム及び加工方法の実施形態について説明する。以下では、物体の一例であるワークWを加工可能な加工システムSYSを用いて、加工装置及び加工方法の実施形態を説明する。特に、以下では、レーザ肉盛溶接法(LMD: Laser Metal Deposition)に基づく付加加工を行う加工システムSYSを用いて、加工装置及び加工方法の実施形態を説明する。レーザ肉盛溶接法に基づく付加加工は、ワークWに供給した造形材料Mを加工光EL(つまり、光の形態を有するエネルギービーム)で溶融することで、ワークWと一体化された又はワークWから分離可能な造形物を造形する付加加工である。

[0007] また、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）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、 θ X方向、 θ Y方向及び θ Z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。

（１）加工システムS Y Sの構成

（１－１）加工システムS Y Sの全体構成

[0008] 初めに、図1から図2を参照しながら、本実施形態の加工システムS Y Sの構成について説明する。図1は、本実施形態の加工システムS Y Sの構成を模式的に示す断面図である。図2は、本実施形態の加工システムS Y Sの構成を示すブロック図である。

[0009] 加工システムS Y Sは、ワークWに対して付加加工を行うことが可能である。加工システムS Y Sは、ワークWに対して付加加工を行うことで、ワークWと一体化された（或いは、分離可能な）造形物を造形可能である。この場合、ワークWに対して行われる付加加工は、ワークWと一体化された（或いは、分離可能な）造形物をワークWに付加する加工に相当する。尚、本実施形態における造形物は、加工システムS Y Sが造形する任意の物体を意味していてもよい。例えば、加工システムS Y Sは、造形物の一例として、三次元構造物（つまり、三次元方向のいずれの方向においても大きさを持つ三次元の構造物であり、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を持つ構造物）S Tを造形可能である。

[0010] ワークWが後述するステージ3 1である場合には、加工システムS Y Sは、ステージ3 1に対して付加加工を行うことが可能である。ワークWがステージ3 1に載置されている物体である載置物である場合には、加工システムS Y Sは、載置物に対して付加加工を行うことが可能である。ステージ3 1に載置される載置物は、加工システムS Y Sが造形した別の三次元構造物S T（つまり、既存構造物）であってもよい。また、ワークWは、ステージ3

1に載置可能な保持具によって保持されていてもよい。つまり、保持具がワークWを保持し、ワークWを保持した保持具がステージ31に載置されてもよい。保持具は、治具(j i g)、ホルダー(h o l d e r)、保持部材、取付部材、固定部材(h o l d i n g m e m b e r、m o u n t i n g m e m b e r)又はクランプと称されてもよい。尚、図1は、ワークWが、ステージ31に載置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に載置されている既存構造物である例を用いて説明を進める。

[0011] ワークWは、欠損箇所がある要修理品であってもよい。この場合、加工システムS Y Sは、欠損箇所を補填するための造形物を造形する付加加工を行うことで、要修理品を補修する補修加工を行ってもよい。つまり、加工システムS Y Sが行う付加加工は、欠損箇所を補填するための造形物をワークWに付加する付加加工を含んでいてもよい。

[0012] 上述したように、加工システムS Y Sは、レーザ肉盛溶接法に基づく付加加工を行うことが可能である。つまり、加工システムS Y Sは、積層加工技術を用いて物体を加工する3Dプリンタであるとも言える。尚、積層加工技術は、ラピッドプロトタイピング(R a p i d P r o t o t y p i n g)、ラピッドマニュファクチャリング(R a p i d M a n u f a c t u r i n g)、又は、アディティブマニュファクチャリング(A d d i t i v e M a n u f a c t u r i n g)とも称されてもよい。尚、レーザ肉盛溶接法(L M D)は、DED(D i r e c t e d E n e r g y D e p o s i t i o n)と称されてもよい。

[0013] 積層加工技術を用いる加工システムS Y Sは、複数の構造層S L(後述する図8参照)を順に形成することで、複数の構造層S Lが積層された三次元構造物S Tを造形する。この場合、加工システムS Y Sは、まず、ワークWの表面を、造形物を実際に造形する造形面M Sに設定し、当該造形面M S上に、1層目の構造層S Lを造形する。その後、加工システムS Y Sは、1層目の構造層S Lの表面を新たな造形面M Sに設定し、当該造形面M S上に、

2層目の構造層S Lを造形する。以降、加工システムS Y Sは、同様の動作を繰り返すことで、複数の構造層S Lが積層された三次元構造物S Tを造形する。

[0014] 加工システムS Y Sは、エネルギービームである加工光E Lを用いて造形材料Mを加工することで付加加工を行う。造形材料Mは、所定強度以上の加工光E L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。金属性の材料の一例として、銅を含む材料、タングステンを含む材料、及び、ステンレスを含む材料の少なくとも一つがあげられる。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、粉状の材料である。つまり、造形材料Mは、粉体である。但し、造形材料Mは、粉体でなくてもよい。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。

[0015] ワークWもまた、造形材料Mと同様に、所定強度以上の加工光E Lの照射によって溶融可能な材料を含む物体であってもよい。ワークWの材料は、造形材料Mと同一であってもよいし、異なってもよい。ワークWの材料として、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。金属性の材料の一例として、銅を含む材料、タングステンを含む材料、及び、ステンレスを含む材料の少なくとも一つがあげられる。但し、ワークWの材料として、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。

[0016] 付加加工を行うために、加工システムS Y Sは、図1から図2に示すように、材料供給源1と、加工ユニット2と、ステージユニット3と、光源4と、気体供給源5と、制御ユニット7とを備える。加工ユニット2と、ステージユニット3とは、筐体6の内部のチャンバ空間6 3 | Nに収容されていてもよい。この場合、加工システムS Y Sは、チャンバ空間6 3 | Nにおいて付加加工を行ってもよい。尚、加工ユニット2と、ステージユニット3との

少なくとも一方は、筐体6の内部のチャンバ空間631Nに收容されていなくてもよい。

[0017] 尚、加工ユニット2は、加工装置と称されてもよい。材料供給源1、ステージユニット3、光源4及び気体供給源5の少なくとも一つと加工ユニット2とを含む装置が、加工装置と称されてもよい。制御ユニット7は、制御装置と称されてもよい。

[0018] 材料供給源1は、加工ユニット2に造形材料Mを供給する。材料供給源1は、付加加工を行うために単位時間あたりに必要とする分量の造形材料Mが加工ユニット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。

[0019] 加工ユニット2は、材料供給源1から供給される造形材料Mを加工して造形物を造形する。造形物を造形するために、加工ユニット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、照射装置210と、材料ノズル212とを備えている。尚、加工ヘッド21は、加工装置と称されてもよい。

[0020] 照射装置210は、加工光ELを射出するための装置である。加工光ELを射出するために、照射装置210は、照射光学系211を備えている。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を射出する（生成する）光源4と、光伝送部材41を介して光学的に接続されている。光伝送部材41の一例として、光ファイバ及びライトパイプの少なくとも一つがあげられる。

[0021] 図1から図2に示す例では、加工システムSYSが二つの光源4（具体的には、光源4#1及び4#2）を備えており、照射光学系211は、光伝送部材41#1及び41#2を介して、それぞれ、光源4#1及び4#2と光学的に接続されている。照射光学系211は、光伝送部材41#1を介して光源4#1から伝搬してくる加工光ELと、光伝送部材41#2を介して光源4#2から伝搬してくる加工光ELとの双方を射出する。尚、以下の説明では、照射光学系211が射出する二つの加工光ELを区別する必要がある

場合には、必要に応じて、光源4 # 1が生成した加工光ELを、“加工光EL # 1”と称し、且つ、光源4 # 2が生成した加工光ELを、“加工光EL # 2”と称する。一方で、二つの加工光ELを区別する必要がない場合には、“加工光EL”は、加工光EL # 1及びEL # 2の少なくとも一方を意味していてもよい。

[0022] 但し、加工システムSYSは、複数の光源4に代えて、単一の光源4を備えていてもよい。照射光学系211は、複数の加工光ELを射出することに代えて、単一の加工光ELを射出してもよい。

[0023] 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を射出する。図1に示す例では、照射光学系211は、照射光学系211からZ軸に沿った照射方向（言い換えれば、進行方向）に沿って加工光ELが進行するように、加工光ELを射出している。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、射出した加工光ELを造形面MSに照射する。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）領域として造形面MSに設定される目標照射領域（目標照射位置）EAに加工光ELを照射してもよい。尚、以下の説明では、照射光学系211が二つの加工光ELをそれぞれ照射する二つの目標照射領域EAを区別する必要がある場合には、必要に応じて、照射光学系211が加工光EL # 1を照射する目標照射領域EAを、“目標照射領域EA # 1”と称し、且つ、照射光学系211が加工光EL # 2を照射する目標照射領域EAを、“目標照射領域EA # 2”と称する。更に、照射光学系211の状態は、制御ユニット7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。

[0024] 照射光学系211は、造形面MSに加工光ELを照射することで、造形面MSに溶融池MPを形成してもよい。例えば、照射光学系211は、造形面MSに加工光EL # 1を照射することで、造形面MSに溶融池MP # 1を形

成してもよい。例えば、照射光学系211は、造形面MSに加工光EL#2を照射することで、造形面MSに溶融池MP#2を形成してもよい。溶融池MP#1と溶融池MP#2とは、一体化されていてもよい。或いは、溶融池MP#1と溶融池MP#2とは、互いに離れていてもよい。但し、加工光EL#1の照射によって造形面MSに溶融池MP#1が形成されなくてもよい。加工光EL#2の照射によって造形面MSに溶融池MP#2が形成されなくてもよい。

[0025] 後に詳述するように、照射光学系211は、材料照射面ESに加工光ELを照射してもよい。材料照射面ESは、照射光学系211と造形面MSとの間に位置する仮想的な光学面である。照射光学系211は、材料照射面ESに加工光ELを照射することで、材料照射面ESを通過する造形材料Mを溶融させてもよい。

[0026] 材料ノズル212は、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）。このため、材料ノズル212は、材料供給部材と称されてもよい。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、窒素やアルゴン等の不活性ガス）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、気体供給源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、気体供給源5とは異なる気体供給源から供給される気体を用いられてもよい。

[0027] 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、造形面MSに向けて造形材料Mを供給する。

[0028] 材料ノズル212の下面には、材料供給口2121が形成されている。例えば、材料ノズル212の下面を示す平面図である図3に示すように、材料ノズル212の下面には、環状の材料供給口2121が形成されている。図3に示す例では、Z軸に交差する面に沿った材料供給口2121の外縁の形状は、円形であるが、円形とは異なる形状であってもよい。例えば、Z軸に交差する面に沿った材料供給口2121の外縁の形状は、楕円形であってもよいし、多角形であってもよい。また、図3に示す例では、材料ノズル212の下面には、円環状の又は輪帯状のひとつながりの開口部である材料供給口2121が形成されている。しかしながら、材料ノズル212の下面には、円弧状、円形状、楕円形状又は矩形状の開口部である材料供給口2121が複数形成されていてもよい。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。このように材料供給口2121が形成されている場合、材料ノズル212は、材料ノズル212と造形面MSとの間においてZ軸に交差する仮想的な材料供給面PL内の材料供給領域MSAの形状が材料供給口2121に応じた形状となるように、造形材料Mを供給してもよい。例えば、材料供給面PL内の材料供給領域MSAの一例を示す平面図である図4(a)に示すように、材料ノズル212は、材料供給面PLの一例である材料供給面PL#1及びPL#2のそれぞれ内の材料供給領域MSAの形状が、環状の材料供給口2121に応じた環状の形状となるように、造形材料Mを供給してもよい。例えば、材料供給面PL内の材料供給領域MSAの一例を示す平面図である図4(b)に示すように、材料ノズル212は、材料供給面PLの一例である材料供給面PL#4及びPL#5のそれぞれ内の材料供給領域MSAの形状が、環状の材料供給口2121に応じた環状の形状となるように、造形材料Mを供給してもよい。例えば、材料供給面PL内の材料供給領域MSAの一例を示す平面図である図4(c)に示すように、材料ノズル212は、材料供給面PLの一例である材料供給面PL#6及

びP L # 7のそれぞれ内の材料供給領域M S Aの形状が、環状の材料供給口2 1 2 1に応じた環状の形状となるように、造形材料Mを供給してもよい。

[0029] 尚、材料供給領域M S Aは、材料ノズル2 1 2と造形面M Sとの間においてZ軸に交差する仮想的な材料供給面P L内で造形材料Mが供給される仮想的な領域である。つまり、材料供給領域M S Aは、材料供給面P L内で、材料ノズル2 1 2から供給された造形材料Mが通過する仮想的な領域である。この場合、材料ノズル2 1 2は、材料供給領域M S Aに造形材料Mを供給しているとみなしてもよい。尚、造形材料Mが材料供給面P Lを通過するがゆえに、材料供給面P Lは、材料通過面と称されてもよい。

[0030] 但し、造形材料Mが粉状の材料である場合には、材料供給面P L内の各位置に対して供給される造形材料Mの量（供給量）は、時間によって変動する可能性がある。例えば、第1時刻において、材料供給面P L内の一の位置に対して造形材料Mが供給される一方で、第1時刻とは異なる第2時刻において、材料供給面P L内の同じ一の位置に対して造形材料Mが供給されない可能性がある。つまり、造形材料Mが粉状の材料である場合には、材料供給面P L内の各位置を通過する造形材料Mの量（通過量）は、時間によって変動する可能性がある。例えば、第1時刻において、材料供給面P L内の一の位置を造形材料Mが通過する一方で、第1時刻とは異なる第2時刻において、材料供給面P L内の同じ一の位置を造形材料Mが通過しない可能性がある。なぜならば、材料ノズル2 1 2から供給される粉状の造形材料Mの軌道が常に同じになることは考えにくいからである。このため、本実施形態では、材料供給領域M S Aとして、「材料供給面P L内での単位時間当たりの造形材料Mの供給量（通過量）の積算値が、材料供給面P L内での単位時間当たりの造形材料Mの供給量（通過量）の積算値の最大値の所定割合と一致する」という条件を満たす複数の位置をつなぐ線が外縁（言い換えれば、境界）となる仮想的な領域が用いられてもよい。所定割合の一例として、5割又は5割よりも大きい割合があげられる。所定割合の他の一例として、6割又は6割よりも大きい割合があげられる。所定割合の他の一例として、7割又は7

割よりも大きい割合があげられる。所定割合の他の一例として、8割又は8割よりも大きい割合があげられる。所定割合の他の一例として、9割又は9割よりも大きい割合があげられる。

[0031] 更に、図1に示すように、材料ノズル212は、材料供給口2121から、Z軸に対して傾斜した材料供給方向に沿って造形材料Mが供給されるように、造形材料Mを供給してもよい。この場合、材料ノズル212は、材料供給口2121の複数箇所からそれぞれ異なる材料供給方向に沿って造形材料Mが供給されるように、造形材料Mを供給してもよい。つまり、材料ノズル212は、材料供給口2121内の複数の供給位置からそれぞれ異なる材料供給方向に沿って造形材料Mが供給されるように、造形材料Mを供給してもよい。一例として、図3及び図4(a)から図4(c)に示すように、材料ノズル212は、材料供給口2121の第1供給口部分2122から、Z軸に対して傾斜した第1の材料供給方向に沿って造形材料Mが供給され、第1供給口部分2122とは異なる材料供給口2121の第2供給口部分2123から、Z軸に対して傾斜し且つ第1の材料供給方向とは異なる第2の材料供給方向に沿って造形材料Mが供給されるように、造形材料Mを供給してもよい。この場合、図4(a)から図4(c)に示すように、典型的には、Z軸に沿った材料供給面PLと材料ノズル212(特に、材料供給口2121)との間の距離に応じて、材料供給面PL内での材料供給領域MSAのサイズ(例えば、外径)が変わる。

[0032] 図4(a)から図4(c)に示す例では、材料ノズル212は、Z軸に沿った材料供給面PLと材料ノズル212(特に、材料供給口2121)との間の距離が長くなるほど、材料供給面PL内での材料供給領域MSAのサイズが小さくなるように、造形材料Mを供給している。つまり、材料ノズル212は、材料ノズル212から供給された造形材料Mが徐々に収束するように、造形材料Mを供給している。一例として、図4(a)に示す例では、材料供給面PL#2における材料供給領域MSAのサイズ(例えば、外径)は、材料供給面PL#2と材料ノズル212との間に位置する(つまり、材料

供給面 P L # 2 よりも材料ノズル 2 1 2 に近い) 材料供給面 P L # 1 における材料供給領域 M S A のサイズ (例えば、外径) よりも小さくなっている。

[0033] 材料供給口 2 1 2 1 の複数箇所からそれぞれ異なる方向に沿って造形材料 M が供給される場合、材料ノズル 2 1 2 は、複数の材料供給方向に沿ってそれぞれ延びる複数の仮想的な材料供給軸 S X が交差するように、造形材料 M を供給してもよい。例えば、図 4 (a) から図 4 (c) に示すように、材料ノズル 2 1 2 は、材料供給口 2 1 2 1 の第 1 供給口部分 2 1 2 2 から供給される造形材料 M の材料供給方向に沿って延びる仮想的な材料供給軸 S X # 1 と、材料供給口 2 1 2 1 の第 2 供給口部分 2 1 2 3 から供給される造形材料 M の材料供給方向に沿って延びる仮想的な材料供給軸 S X # 2 とが交差するように、造形材料 M を供給してもよい。

[0034] 一例として、図 4 (a) に示すように、材料ノズル 2 1 2 は、複数の材料供給方向に沿ってそれぞれ延びる複数の仮想的な材料供給軸 S X が、造形面 M S の上方において交差するように、造形材料 M を供給してもよい。つまり、材料ノズル 2 1 2 は、複数の材料供給方向に沿ってそれぞれ延びる複数の仮想的な材料供給軸 S X が、造形面 M S と材料ノズル 2 1 2 との間の空間において交差するように、造形材料 M を供給してもよい。この場合、材料供給口 2 1 2 1 の複数箇所からそれぞれ異なる材料供給方向に沿って供給される造形材料 M は、造形面 M S の上方において交差してもよい。つまり、材料供給口 2 1 2 1 の複数箇所からそれぞれ異なる材料供給方向に沿って供給される造形材料 M は、造形面 M S と材料ノズル 2 1 2 との間の空間において交差してもよい。この場合、図 4 (a) に示すように、材料供給口 2 1 2 1 の複数箇所からそれぞれ異なる材料供給方向に沿って供給される造形材料 M が交差する位置に位置する材料供給面 P L (図 4 (a) に示す例では、材料供給面 P L # 3) 内において、材料供給領域 M S A の形状は、環状の形状とは異なる形状であってもよい。例えば、図 4 (a) に示すように、材料供給領域 M S A の形状は、円形又は円形とみなすことが可能な形状であってもよい。

[0035] 他の一例として、図 4 (b) に示すように、材料ノズル 2 1 2 は、複数の

材料供給方向に沿ってそれぞれ延びる複数の仮想的な材料供給軸 SX が、造形面 MS の下方において交差するように、造形材料 M を供給してもよい。この場合、材料供給口 2121 の複数箇所からそれぞれ異なる方向に沿って供給される造形材料 M は、交差しなくてもよい。材料供給口 2121 の複数箇所からそれぞれ異なる方向に沿って供給される造形材料 M は、互いに交差する前に、造形面 MS に到達してもよい。この場合、図 4 (b) に示すように、材料供給面 PL とみなしてもよい造形面 MS 内において、材料供給領域 MSA の形状は、環状の形状であってもよい。但し、材料供給面 PL とみなしてもよい造形面 MS 内において、材料供給領域 MSA の形状は、環状の形状とは異なる形状であってもよい。例えば、造形面 MS 内において、材料供給領域 MSA の形状は、円形又は円形とみなすことが可能な形状であってもよい。

[0036] 他の一例として、図 4 (c) に示すように、材料ノズル 212 は、複数の材料供給方向に沿ってそれぞれ延びる複数の仮想的な材料供給軸 SX が、造形面 MS 上で交差するように、造形材料 M を供給してもよい。この場合、材料供給口 2121 の複数箇所からそれぞれ複数の異なる材料供給方向に沿って供給される造形材料 M は、造形面 MS 上で交差してもよい。この場合、図 4 (c) に示すように、材料供給面 PL とみなしてもよい造形面 MS 内において、材料供給領域 MSA の形状は、環状の形状とは異なる形状であってもよい。例えば、造形面 MS 内において、材料供給領域 MSA の形状は、円形又は円形とみなすことが可能な形状であってもよい。

[0037] 以下の説明では、説明の便宜上、複数の材料供給方向に沿ってそれぞれ延びる複数の仮想的な材料供給軸 SX が交差する位置 (点) を、材料制御点 MCP と称する。尚、造形材料 M が粉体である場合には、材料制御点 MCP は、粉体制御点と称されてもよい。この場合、図 4 (a) に示す例では、材料ノズル 212 は、材料制御点 MCP が造形面 MS の上方に位置する状態で、造形材料 M を供給しているとも言える。図 4 (a) に示す例では、材料ノズル 212 は、材料制御点 MCP が造形面 MS と材料ノズル 212 との間の空

間に位置する状態で、造形材料Mを供給しているとも言える。一方で、図4 (b) に示す例では、材料ノズル212は、材料制御点MCPが造形面MSの下方に位置する状態で、造形材料Mを供給しているとも言える。言い換えれば、図4 (b) に示す例では、材料ノズル212は、材料制御点MCPが、ワークWの内部(内側)、ワークWの下方、造形済みの構造層SLの内部(内側)及び/又は造形済みの構造層SLの下方に位置する状態で供給しているとも言える。他方で、図4 (c) に示す例では、材料ノズル212は、材料制御点MCPが造形面MSに位置する状態で、造形材料Mを供給しているとも言える。

[0038] 材料ノズル212からの材料供給方向は、典型的には、材料ノズル212に固有の方向である。このため、材料制御点MCPは、材料ノズル212に固有の点であるとみなしてもよい。つまり、材料制御点MCPは、材料ノズル212を基準に定まる点であるとみなしてもよい。尚、材料制御点MCPが材料ノズル212を基準に定まる点である限りは、複数の仮想的な材料供給軸SXが交差する位置(点)とは異なる位置(点)が、材料制御点MCPとして用いられてもよい。尚、材料制御点MCPが材料ノズル212を基準に定まる点である場合には、材料制御点MCPと材料ノズル212との位置関係が固定されているとみなしてもよい。

[0039] 材料制御点MCPにおいて複数の材料供給方向に沿ってそれぞれ延びる複数の仮想的な材料供給軸SXが交差するがゆえに、造形材料Mを遮る物体(例えば、造形面MSを表面に含むワークW、以下同じ)が存在しない状況下では、材料ノズル212から複数の異なる材料供給方向に沿って供給される造形材料Mは、材料制御点MCPに供給される。このため、材料制御点MCPは、造形材料Mを遮る物体が存在しない状況下において、材料ノズル212から複数の異なる材料供給方向に沿って供給される造形材料Mが供給される点であるとみなしてもよい。材料制御点MCPは、造形材料Mを遮る物体が存在しない状況下において、材料ノズル212から造形材料Mを供給可能な空間に位置する点であるとみなしてもよい。

- [0040] 尚、実際には、造形材料Mを遮る物体（例えば、造形面MS）が存在する状況では、上述したように材料制御点MCPが造形面MSの下方に位置する場合において、材料制御点MCPは、造形材料Mを遮る物体（典型的には、ワークW）が占有する空間に位置していてもよい。材料制御点MCPは、造形材料Mを遮る物体（典型的には、ワークW）の内部に位置していてもよい。
- [0041] 材料制御点MCPにおいて複数の材料供給方向に沿ってそれぞれ延びる複数の仮想的な材料供給軸SXが交差するがゆえに、造形材料Mを遮る物体が存在しない状況下では、材料制御点MCPにおいて、材料ノズル212から複数の異なる材料供給方向に沿って供給される造形材料Mが交差する。このため、材料制御点MCPは、造形材料Mを遮る物体が存在しない状況下において、材料ノズル212から複数の異なる材料供給方向に沿って供給される造形材料Mが交差する点であるとみなしてもよい。
- [0042] 材料制御点MCPにおいて複数の材料供給方向に沿ってそれぞれ延びる複数の仮想的な材料供給軸SXが交差するがゆえに、造形材料Mを遮る物体が存在しない状況下では、材料制御点MCPにおいて、材料ノズル212から複数の異なる材料供給方向に沿って供給される造形材料Mが収束する。このため、材料制御点MCPは、造形材料Mを遮る物体が存在しない状況下において、材料ノズル212から複数の異なる材料供給方向に沿って供給される造形材料Mが収束する点であるとみなしてもよい。
- [0043] 材料制御点MCPにおいて複数の材料供給方向に沿ってそれぞれ延びる複数の仮想的な材料供給軸SXが交差するがゆえに、造形材料Mを遮る物体が存在しない状況下では、材料制御点MCPにおいて、材料ノズル212から複数の異なる材料供給方向に沿って供給される造形材料Mが集中する。このため、材料制御点MCPは、造形材料Mを遮る物体が存在しない状況下において、材料ノズル212から複数の異なる材料供給方向に沿って供給される造形材料Mが集中する点であるとみなしてもよい。
- [0044] 材料ノズル212から複数の異なる材料供給方向に沿って供給される造形

材料Mが材料制御点MCPにおいて交差する（収束する又は集中する）がゆえに、Z軸方向において材料制御点MCPと同じ位置に位置する材料供給面PL内での造形材料Mの密度は、材料制御点MCPからZ軸方向に沿って離れた位置に位置する材料供給面PL内での造形材料Mの密度よりも高くなる。典型的には、造形材料Mの密度は、材料制御点MCPとZ軸方向における位置が同じ材料供給面PL内で最も高くなる。このため、材料制御点MCPは、「材料供給面PL内での造形材料Mの密度が最も高くなる」という条件を満たす一の材料供給面PLとZ軸方向における位置が同じになる点であるとみなしてもよい。

[0045] 材料制御点MCPにおいて複数の材料供給方向に沿ってそれぞれ延びる複数の仮想的な材料供給軸SXが交差するがゆえに、図4(a)から図4(c)を参照しながら説明したように、材料制御点MCPの位置において、材料供給領域MSAの形状は、円形又は円形とみなすことが可能な形状（つまり、環状の形状とは異なる形状）となる可能性が相対的に高くなる。この場合、材料制御点MCPは、「材料供給面PL内での材料供給領域MSAの形状が、円形又は円形とみなすことが可能な形状（つまり、環状の形状とは異なる形状）となる」という条件を満たす一の材料供給面PLとZ軸方向における位置が同じになる点であるとみなしてもよい。

[0046] 照射光学系211から射出される加工光ELは、材料ノズル212から供給される造形材料Mによって少なくとも部分的に囲まれる空間を進行してもよい。この場合、材料ノズル212から供給される造形材料Mによって少なくとも部分的に囲まれる空間を進行する加工光ELが、造形面MSに照射されてもよい。例えば、図4(a)から図4(c)に示す例において、照射光学系211から射出される加工光ELは、材料ノズル212から供給される造形材料Mが外縁となる円錐状の空間を進行してもよい。例えば、図4(a)から図4(c)に示す例において、照射光学系211から射出される加工光ELは、材料ノズル212から供給される造形材料Mが外縁となる円錐状の空間を進行してもよい。

[0047] 照射光学系211から射出される加工光ELは、材料ノズル212の複数箇所から供給される造形材料Mによって挟まれる空間を進行してもよい。この場合、材料ノズル212の複数箇所から供給される造形材料Mによって挟まれる空間を進行する加工光ELが、造形面MSに照射されてもよい。例えば、図4(a)から図4(c)に示す例において、照射光学系211から射出される加工光ELは、材料供給口2121の一部分である第1供給口部分2122から供給される造形材料Mと、材料供給口2121の他の一部分である第2供給口部分2123から供給される造形材料Mとによって挟まれる空間を進行してもよい。言い換えれば、照射光学系211から射出される加工光ELは、複数の材料供給方向に沿ってそれぞれ延びる複数の材料供給軸SXを稜線とした錐状又は錐台状の空間を進行してもよい。

[0048] 再び図1及び図2において、ヘッド駆動系22は、制御ユニット7の制御下で、加工ヘッド21を移動させる。つまり、ヘッド駆動系22は、制御ユニット7の制御下で、照射光学系211及び材料ノズル212を移動させる。ヘッド駆動系22は、例えば、X軸方向、Y軸方向、Z軸方向、 θX 方向、 θY 方向及び θZ 方向の少なくとも一つに沿って加工ヘッド21を移動させる。尚、 θX 方向、 θY 方向及び θZ 方向の少なくとも一つに沿って加工ヘッド21を移動させる動作は、X軸に沿った回転軸、Y軸に沿った回転軸及びZ軸に沿った回転軸の少なくとも一つの周りに加工ヘッド21を回転させる動作と等価であるとみなしてもよい。

[0049] ヘッド駆動系22が加工ヘッド21を移動させると、加工ヘッド21とステージ31及びステージ31に載置されたワークWのそれぞれとの間の相対的な位置関係が変わる。その結果、ステージ31及びワークWのそれぞれと加工ヘッド21が備える照射光学系211との間の相対的な位置関係が変わる。このため、ヘッド駆動系22は、ステージ31及びワークWのそれぞれと照射光学系211との間の相対的な位置関係を変更可能な位置変更装置として機能しているとみなしてもよい。更に、ステージ31及びワークWのそれぞれと加工ヘッド21との間の相対的な位置関係が変わると、目標照射領

域E A # 1 及びE A # 2 並びに目標供給領域MAのそれぞれとワークWとの間の相対的な位置関係もまた変わる。つまり、目標照射領域E A # 1 及びE A # 2 並びに目標供給領域MAのそれぞれが、ワークWの表面（より具体的には、付加加工が行われる造形面MS）上において、X軸方向、Y軸方向、Z軸方向、 θ X方向、 θ Y方向及び θ Z方向の少なくとも一つに沿って移動する。この場合、ヘッド駆動系22は、目標照射領域E A # 1 及びE A # 2 並びに目標供給領域MAのそれぞれが造形面MS上において移動するように、加工ヘッド21を移動させているとみなしてもよい。

[0050] ノズル駆動系23は、材料ノズル212を移動させる。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。

[0051] ノズル駆動系23は、例えば、X軸、Y軸、Z軸、 θ X方向、 θ Y方向及び θ Z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。本実施形態では、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。

[0052] ノズル駆動系23がZ軸に沿って材料ノズル212を移動させると、材料ノズル212を基準に定まる材料制御点MCPが移動する。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、材料ノズル212を基準に定まる材料制御点MCPを制御しているとみなしてもよい。ノズル駆動系23は、材料ノズル212を移動させることで、材料ノズル212を基準に定まる材料制御点MCPの位置を制御しているとみなしてもよい。

[0053] 一例として、ノズル駆動系23がZ軸に沿って材料ノズル212を移動さ

せると、Z軸方向における造形面MSと材料制御点MCPとの間の位置関係が変わる。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、造形面MSと材料制御点MCPとの間の位置関係（特に、Z軸方向における位置関係）を変更しているとみなしてもよい。ノズル駆動系23は、材料ノズル212を移動させることで、造形面MSと材料制御点MCPとの間の距離（特に、Z軸方向における距離）を変更しているとみなしてもよい。

[0054] また、ヘッド駆動系22が加工ヘッド21を移動させると、ノズル駆動系23が材料ノズル212を移動させなくても、ステージ31及びステージ31に載置されたワークWのそれぞれと材料制御点MCPとの間の相対的な位置関係が変わる。つまり、造形面MSと材料制御点MCPとの間の位置関係が変わる。なぜならば、材料制御点MCPと加工ヘッド21の移動に伴って移動する材料ノズル212との位置関係が固定されているからである。このため、ヘッド駆動系22は、造形面MSと材料制御点MCPとの位置関係を変更しているとみなしてもよい。例えば、ヘッド駆動系22が加工ヘッド21をZ軸方向に沿って移動させる場合には、ヘッド駆動系22は、造形面MSと材料制御点MCPとの間の距離（特に、Z軸方向における距離）を変更しているとみなしてもよい。

[0055] 他の一例として、ノズル駆動系23がZ軸に沿って材料ノズル212を移動させると、Z軸方向における加工光ELのフォーカス位置CP（図5参照）と材料制御点MCPとの間の位置関係が変わる。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、加工光ELのフォーカス位置CPと材料制御点MCPとの間の位置関係（特に、Z軸方向における位置関係）を変更しているとみなしてもよい。ノズル駆動系23は、材料ノズル212を移動させることで、加工光ELのフォーカス位置CPと材料制御点MCPとの間の距離（特に、Z軸方向における距離）を変更しているとみなしてもよい。尚、加工光ELのフォーカス位置CPについては、図5を参照しながら後に詳述する。

ステージユニット3は、ステージ31と、ステージ駆動系32とを備えている。

[0056] ステージ31には、ワークWが載置される。具体的には、ステージ31の一面の表面（例えば、+Z側を向いた上面）であるステージ載置面311には、ワークWが載置される。ステージ31は、ステージ31に載置されたワークWを支持可能である。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。また、ワークWは、保持具に取り付けられていてもよく、ワークWが取り付けられた保持具がステージ31に載置されていてもよい。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#1及びEL#2のそれぞれを射出する。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。

[0057] ステージ駆動系32は、ステージ31を移動させる。ステージ駆動系32は、例えば、X軸、Y軸、Z軸、 θ X方向、 θ Y方向及び θ Z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。尚、 θ X方向、 θ Y方向及び θ Z方向の少なくとも一つに沿ってステージ31を移動させる動作は、X軸に沿った回転軸（つまり、A軸）、Y軸に沿った回転軸（つまり、B軸）及びZ軸に沿った回転軸（つまり、C軸）の少なくとも一つの周りにステージ31を回転させる動作と等価であるとみなしてもよい。

[0058] 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及びワークWのそれぞれとの間の相対的な位置関係が変わる。その結果、ステージ31及びワークWのそれぞれと加工ヘッド21が備える照射光学系211との間の相対的な位置関係が変わる。このため、ステージ駆

動系 3 2 は、ヘッド駆動系 2 2 と同様に、ステージ 3 1 及びワーク W のそれぞれと照射光学系 2 1 1 との間の相対的な位置関係を変更可能な位置変更装置として機能しているとみなしてもよい。更に、ステージ 3 1 及びワーク W のそれぞれと加工ヘッド 2 1 との間の相対的な位置関係が変わると、目標照射領域 E A # 1 及び E A # 2 並びに目標供給領域 M A のそれぞれとワーク W との間の相対的な位置関係もまた変わる。つまり、目標照射領域 E A # 1 及び E A # 2 並びに目標供給領域 M A のそれぞれが、ワーク W の表面（より具体的には、造形面 M S）上において、X 軸方向、Y 軸方向、Z 軸方向、 θX 方向、 θY 方向及び θZ 方向の少なくとも一つに沿って移動する。この場合、ステージ駆動系 3 2 は、目標照射領域 E A # 1 及び E A # 2 並びに目標供給領域 M A のそれぞれが造形面 M S 上において移動するように、ステージ 3 1 を移動させているとみなしてもよい。

[0059] また、ステージ駆動系 3 2 がステージ 3 1 を移動させると、ノズル駆動系 2 3 が材料ノズル 2 1 2 を移動させなくても、材料制御点 M C P とステージ 3 1 及びステージ 3 1 に載置されたワーク W のそれぞれとの間の相対的な位置関係が変わる。つまり、造形面 M S と材料制御点 M C P との間の位置関係が変わる。なぜならば、材料制御点 M C P と材料ノズル 2 1 2 との位置関係が固定されているからである。このため、ステージ駆動系 3 2 は、造形面 M S と材料制御点 M C P との位置関係を変更しているとみなしてもよい。例えば、ステージ駆動系 3 2 がステージ 3 1 を Z 軸方向に沿って移動させる場合には、ステージ駆動系 3 2 は、造形面 M S と材料制御点 M C P との距離（特に、Z 軸方向における距離）を変更しているとみなしてもよい。

[0060] 光源 4 は、例えば、赤外光、可視光及び紫外光のうちの一つを、加工光 E L として射出する。但し、加工光 E L として、その他の種類の光が用いられてもよい。加工光 E L 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 E L 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（L D : L a s e r D i o d e）等の半導体レーザ）を含んでいてもよい。レーザ光源

としては、ファイバ・レーザ、CO₂レーザ、YAGレーザ及びエキシマレーザ等の少なくとも一つが用いられてもよい。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。

[0061] 上述したように、加工システムSYSは、複数の光源4（具体的には、光源4 # 1及び4 # 2）を備えている。この場合、光源4 # 1が射出する加工光EL # 1の特性と、光源4 # 2が射出する加工光EL # 2の特性とは、同一であってもよい。例えば、加工光EL # 1の波長（典型的には、加工光EL # 1の波長帯域において強度が最大となる波長であるピーク波長）と、加工光EL # 2の波長（典型的には、ピーク波長）とは、同一であってもよい。例えば、加工光EL # 1の波長帯域（典型的には、強度が一定値以上となる波長の範囲）と、加工光EL # 2の波長帯域とは、同一であってもよい。例えば、加工光EL # 1の強度と、加工光EL # 2の強度とは、同一であってもよい。例えば、加工光EL # 1に対するワークWの吸収率（或いは、造形面MSが表面となる物体、以下同じ）と、加工光EL # 2に対するワークWの吸収率とは、同一であってもよい。特に、加工光EL # 1のピーク波長に対するワークWの吸収率と、加工光EL # 2のピーク波長に対するワークWの吸収率とは、同一であってもよい。或いは、光源4 # 1が射出する加工光EL # 1の特性と、光源4 # 2が射出する加工光EL # 2の特性とは、異なってもよい。例えば、加工光EL # 1の波長（典型的には、ピーク波長）と、加工光EL # 2の波長（典型的には、ピーク波長）とは、異なってもよい。例えば、加工光EL # 1の波長帯域と、加工光EL # 2の波長帯域とは、異なってもよい。例えば、加工光EL # 1の強度と、加工光EL # 2の強度とは、異なってもよい。例えば、加工光EL # 1に対するワークWの吸収率と、加工光EL # 2に対するワークWの吸収率とは、異なってもよい。特に、加工光EL # 1のピーク波長に対するワークWの吸収率と、加工光EL # 2のピーク波長に対するワークWの吸収率とは、異

なっているもよい。

[0062] 尚、本実施形態では、加工システムS Y Sが複数の光源4を備えている例について説明されている。しかしながら、加工システムS Y Sは、複数の光源4を備えていなくてもよい。加工システムS Y Sは、単一の光源4を備えていてもよい。一例として、加工システムS Y Sは、単一の光源4として、広波長帯域又は複数波長の光を射出（供給）する光源を備えていてもよい。この場合には、加工システムS Y Sは、この光源から射出される光を波長分割することで、互いに異なる波長の加工光E L # 1と加工光E L # 2とを生成してもよい。また、この場合には、加工システムS Y Sは、この光源から射出される光を振幅分割してもよいし、偏光分割してもよい。

[0063] 気体供給源5は、筐体6の内部のチャンバ空間6 3 I N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、窒素ガス又はアルゴンガスがあげられる。気体供給源5は、筐体6の隔壁部材6 1に形成された供給口6 2及び気体供給源5と供給口6 2とを接続する供給管5 1を介して、チャンバ空間6 3 I Nに接続されている。気体供給源5は、供給管5 1及び供給口6 2を介して、チャンバ空間6 3 I Nにパージガスを供給する。その結果、チャンバ空間6 3 I N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6 3 I Nに供給されたパージガスは、隔壁部材6 1に形成された不図示の排出口から排出されてもよい。尚、気体供給源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、気体供給源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。

[0064] 上述したように、材料ノズル2 1 2がパージガスと共に造形材料Mを供給する場合には、気体供給源5は、材料供給源1からの造形材料Mが供給される混合装置1 2にパージガスを供給してもよい。具体的には、気体供給源5は、気体供給源5と混合装置1 2とを接続する供給管5 2を介して混合装置1 2と接続されていてもよい。その結果、気体供給源5は、供給管5 2を介して、混合装置1 2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を介して気体供給源5から供給されたパージガスによって、供給管11内を通過して材料ノズル212に向けて供給（具体的には、圧送）されてもよい。つまり、気体供給源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、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。

[0065] 制御ユニット7は、加工システムSYSの動作を制御する。例えば、制御ユニット7は、ワークWに対して付加加工を行うように、加工システムSYSが備える加工ユニット2（例えば、加工ヘッド21及びヘッド駆動系22の少なくとも一方）を制御してもよい。例えば、制御ユニット7は、ワークWに対して付加加工を行うように、加工システムSYSが備えるステージユニット3（例えば、ステージ駆動系32）を制御してもよい。例えば、制御ユニット7は、ワークWに対して付加加工を行うように、加工システムSYSが備える材料供給源1を制御してもよい。例えば、制御ユニット7は、ワークWに対して付加加工を行うように、加工システムSYSが備える光源4を制御してもよい。例えば、制御ユニット7は、ワークWに対して付加加工を行うように、加工システムSYSが備える気体供給源5を制御してもよい。

[0066] 制御ユニット7は、例えば、演算装置71と、記憶装置72とを備えていてもよい。演算装置71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72は、例えば、メモリを含んでいてもよい。制御ユニット7は、演算装置71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SYS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、制御ユニット7が行うべき後述する動作を演算装置71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SYSに後述する動作を行わせるように制御ユニット7

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 7 1 が実行するコンピュータプログラムは、制御ユニット 7 が備える記憶装置 7 2（つまり、記録媒体）に記録されていてもよいし、制御ユニット 7 に内蔵された又は制御ユニット 7 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 7 1 は、実行す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、制御ユニット 7 の外部の装置からダウンロードしてもよい。尚、記憶装置 7 2 は、記録装置と称されてもよい。

[0067] 制御ユニット 7 は、照射光学系 2 1 1 による加工光 E L の射出態様を制御してもよい。射出態様は、例えば、加工光 E L の強度及び加工光 E L の射出タイミングの少なくとも一方を含んでもよい。加工光 E L 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の比（いわゆる、デューティ比）の少なくとも一つを含んでもよい。更に、制御ユニット 7 は、ヘッド駆動系 2 2 による加工ヘッド 2 1 の移動態様を制御してもよい。制御ユニット 7 は、ステージ駆動系 3 2 によるステージ 3 1 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もよい。更に、制御ユニット 7 は、材料ノズル 2 1 2 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、単位時間あたりの供給量）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もよい。

[0068] 制御ユニット 7 は、加工システム S Y S の内部に設けられていなくてもよい。例えば、制御ユニット 7 は、加工システム S Y S 外にサーバ等として設けられていてもよい。この場合、制御ユニット 7 と加工システム S Y S 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 I E E E 1 3 9 4、R S - 2 3 2 x、R S - 4 2 2、R S - 4 2 3、R S - 4 8 5

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、制御ユニット7と加工システムSYS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、制御ユニット7は、ネットワークを介して加工システムSYS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SYSは、制御ユニット7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SYSは、制御ユニット7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、制御ユニット7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、制御ユニット7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SYSの内部に設けられている一方で、制御ユニット7が行う処理のうちの一部を行う第2制御装置が加工システムSYSの外部に設けられていてもよい。

[0069] 制御ユニット7内には、演算装置71がコンピュータプログラムを実行することで、機械学習によって構築可能な演算モデルが実装されてもよい。機械学習によって構築可能な演算モデルの一例として、例えば、ニューラルネットワークを含む演算モデル（いわゆる、人工知能（AI: Artificial

ial Intelligence)) があげられる。この場合、演算モデルの学習は、ニューラルネットワークのパラメータ（例えば、重み及びバイアスの少なくとも一つ）の学習を含んでいてもよい。制御ユニット7は、演算モデルを用いて、加工システムSYSの動作を制御してもよい。つまり、加工システムSYSの動作を制御する動作は、演算モデルを用いて加工システムSYSの動作を制御する動作を含んでいてもよい。尚、制御ユニット7には、教師データを用いたオフラインでの機械学習により構築済みの演算モデルが実装されてもよい。また、制御ユニット7に実装された演算モデルは、制御ユニット7上においてオンラインでの機械学習によって更新されてもよい。或いは、制御ユニット7は、制御ユニット7に実装されている演算モデルに加えて又は代えて、制御ユニット7の外部の装置（つまり、加工システムSYSの外部に設けられる装置）に実装された演算モデルを用いて、加工システムSYSの動作を制御してもよい。

[0070] 尚、制御ユニット7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、制御ユニット7（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ユニット7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、制御ユニット7が備える所定のゲートアレイ（FPGA（Field Programmable Gate Array））、ASIC（Application Specific Integr

ated Circuit)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。

(1-2) 照射光学系211の構造

続いて、図5を参照しながら、照射光学系211の構造について説明する。図5は、照射光学系211の構造を示す断面図である。

[0071] 図5に示すように、照射光学系211は、第1光学系214と、第2光学系215と、第3光学系216とを備える。第1光学系214は、光源4#1から射出される加工光EL#1が入射する光学系である。第1光学系214は、光源4#1から射出される加工光EL#1を、第3光学系216に向けて射出する光学系である。第2光学系215は、光源4#2から射出される加工光EL#2が入射する光学系である。第2光学系215は、光源4#2から射出される加工光EL#2を、第3光学系216に向けて射出する光学系である。第3光学系216は、第1光学系214から射出される加工光EL#1と、第2光学系215から射出される加工光EL#2とが入射する光学系である。第3光学系216は、第1光学系214から射出される加工光EL#1及び第2光学系215から射出される加工光EL#2を、造形面MSに向けて射出する光学系である。以下、第1光学系214、第2光学系215及び第3光学系216について、順に説明する。

[0072] 第1光学系214は、コリメータレンズ2141と、平行平板2142と、パワーメータ2143と、ガルバノスキャナ2144とを備える。ガルバノスキャナ2144は、フォーカス制御光学系2145と、ガルバノミラー2146とを備える。但し、第1光学系214は、コリメータレンズ2141、平行平板2142、パワーメータ2143及びガルバノスキャナ2144の少なくとも一つを備えていなくてもよい。ガルバノスキャナ2144は、フォーカス制御光学系2145及びガルバノミラー2146の少なくとも一つを備えていなくてもよい。

[0073] 光源4#1から射出される加工光EL#1は、コリメータレンズ2141

に入射する。コリメータレンズ2141は、コリメータレンズ2141に入射した加工光EL#1を平行光に変換する。尚、光源4#1から射出される加工光EL#1が平行光である（つまり、平行光である加工光EL#1が第1光学系214に入射する）場合には、第1光学系214は、コリメータレンズ2141を備えていなくてもよい。コリメータレンズ2141が平行光に変換した加工光EL#1は、平行平板2142に入射する。平行平板2142は、平行平板2142に入射する加工光EL#1の光路に対して、斜設されている。平行平板2142に入射した加工光EL#1の一部は、平行平板2142を通過する。平行平板2142に入射した加工光EL#1の他の一部は、平行平板2142によって反射される。

[0074] 平行平板2142を通過した加工光EL#1は、ガルバノスキャナ2144に入射する。具体的には、平行平板2142を通過した加工光EL#1は、ガルバノスキャナ2144のフォーカス制御光学系2145に入射する。

[0075] フォーカス制御光学系2145は、加工光EL#1のフォーカス位置CP（以降、“フォーカス位置CP#1”と称する）を変更可能な光学部材である。尚、本実施形態では、加工光EL#1のフォーカス位置CP#1は、加工光EL#1が集光される集光位置を意味していてもよい。加工光EL#1のフォーカス位置CP#1は、加工光EL#1の照射方向（進行方向）において加工光EL#1が最も収斂している収斂位置を意味していてもよい。

[0076] 具体的には、フォーカス制御光学系2145は、加工光EL#1のフォーカス位置CP#1を、照射光学系211から射出される加工光EL#1の照射方向に沿って変更可能である。図5に示す例では、照射光学系211から射出される加工光EL#1の照射方向は、Z軸方向が主成分となる方向である。この場合、フォーカス制御光学系2145は、加工光EL#1のフォーカス位置CP#1をZ軸方向に沿って変更可能である。また、照射光学系211がワークWの上方から加工光ELを造形面MSに照射するがゆえに、加工光EL#1の照射方向は、造形面MS（例えば、ワークW又は構造層SLの表面）に交差する方向である。このため、フォーカス制御光学系2145

は、加工光E L # 1のフォーカス位置C P # 1を、造形面M S（例えば、ワークW又は構造層S Lの表面）に交差する方向に沿って変更可能であるとみなしてもよい。フォーカス制御光学系2 1 4 5は、加工光E L # 1のフォーカス位置C P # 1を、照射光学系2 1 1（典型的には第3光学系2 1 6）の光軸A Xの方向に沿って変更可能であるとみなしてもよい。

[0077] 尚、加工光E L # 1の照射方向は、第3光学系2 1 6から射出される加工光E L # 1の照射方向を意味していてもよい。この場合、加工光E L # 1の照射方向は、第3光学系2 1 6の光軸に沿った方向と同一であってもよい。加工光E L # 1の照射方向は、第3光学系2 1 6を構成する光学部材のうち最も造形面M S側に配置される最終光学部材の光軸に沿った方向と同一であってもよい。最終光学部材は、後述するf θ レンズ2 1 6 2であってもよい。また、後述するf θ レンズ2 1 6 2が複数の光学部材で構成される場合、最終光学部材は、f θ レンズ2 1 6 2を構成する複数の光学部材のうち最も造形面M S側に配置される光学部材であってもよい。

[0078] 尚、照射光学系2 1 1は、第3光学系2 1 6を備えていなくてもよい。照射光学系2 1 1が第3光学系2 1 6を備えていない場合には、最終光学部材は、第1光学系2 1 4を構成する複数の光学部材のうち最も造形面M S側に配置される光学部材（Y走査ミラー2 1 4 6 M Y）であってもよい。照射光学系2 1 1が第3光学系2 1 6を備えていない場合には、最終光学部材は、第2光学系2 1 5を構成する複数の光学部材のうち最も造形面M S側に配置される光学部材（Y走査ミラー2 1 5 6 M Y）であってもよい。

[0079] フォーカス制御光学系2 1 4 5は、例えば、加工光E L # 1の照射方向に沿って並ぶ複数の光学部材（例えば、複数枚のレンズ）を含んでいてもよい。この場合、フォーカス制御光学系2 1 4 5は、複数の光学部材のうち少なくとも一つをその光軸方向に沿って動かすことで、加工光E L # 1のフォーカス位置C P # 1を変更してもよい。

[0080] フォーカス制御光学系2 1 4 5が加工光E L # 1のフォーカス位置C P # 1を変更すると、加工光E L # 1のフォーカス位置C P # 1と造形面M Sと

の間の位置関係が変わる。特に、加工光EL#1の照射方向（つまり、Z軸方向）における加工光EL#1のフォーカス位置CP#1と造形面MSとの間の位置関係が変わる。このため、フォーカス制御光学系2145は、加工光EL#1のフォーカス位置CP#1を変更することで、加工光EL#1のフォーカス位置CP#1と造形面MSとの間の位置関係（特に、Z軸方向における位置関係）を変更しているとみなしてもよい。フォーカス制御光学系2145は、加工光EL#1のフォーカス位置CP#1を変更することで、加工光EL#1のフォーカス位置CP#1と造形面MSとの間の距離（特に、Z軸方向における距離）を変更しているとみなしてもよい。

[0081] フォーカス制御光学系2145が加工光EL#1のフォーカス位置CP#1を変更すると、加工光EL#1のフォーカス位置CP#1と材料制御点MCPとの間の位置関係が変わる。特に、加工光EL#1の照射方向（つまり、Z軸方向）における加工光EL#1のフォーカス位置CP#1と材料制御点MCPとの間の位置関係が変わる。このため、フォーカス制御光学系2145は、加工光EL#1のフォーカス位置CP#1を変更することで、加工光EL#1のフォーカス位置CP#1と材料制御点MCPとの間の位置関係（特に、Z軸方向における位置関係）を変更しているとみなしてもよい。フォーカス制御光学系2145は、加工光EL#1のフォーカス位置CP#1を変更することで、加工光EL#1のフォーカス位置CP#1と材料制御点MCPとの間の距離（特に、Z軸方向における距離）を変更しているとみなしてもよい。尚、図5は、材料制御点MCPが造形面MSの下方に位置する例を示しているが、上述したように、材料制御点MCPは、造形面MSの上方に位置していてもよいし、造形面MS上に位置していてもよい。

[0082] 尚、上述したように、ガルバノスキャナ2144は、フォーカス制御光学系2145を備えていなくてもよい。この場合であっても、加工光EL#1の照射方向における照射光学系211と造形面MSとの位置関係が変わると、加工光EL#1の照射方向における加工光EL#1のフォーカス位置CP#1と造形面MSとの間の位置関係が変わる。このため、ガルバノスキャナ

2144がフォーカス制御光学系2145を備えていない場合であっても、加工システムSYSは、加工光EL#1の照射方向における加工光EL#1のフォーカス位置CP#1と造形面MSとの間の位置関係を変更することができる。例えば、加工システムSYSは、ヘッド駆動系22を用いて、加工光EL#1の照射方向に沿って加工ヘッド21を移動させることで、加工光EL#1の照射方向における加工光EL#1のフォーカス位置CP#1と造形面MSとの間の位置関係を変更してもよい。例えば、加工システムSYSは、ステージ駆動系32を用いて、加工光EL#1の照射方向に沿ってステージ31を移動させることで、加工光EL#1の照射方向における加工光EL#1のフォーカス位置CP#1と造形面MSとの間の位置関係を変更してもよい。尚、加工システムSYSが、ヘッド駆動系22及びステージ駆動系32のうち少なくとも一方を用いて、加工光EL#1の照射方向における加工光EL#1のフォーカス位置CP#1と造形面MSとの間の位置関係を変更する場合には、加工システムSYSは、合わせて、ノズル駆動系23を用いて材料ノズル212を移動させることで、材料制御点MCPと造形面MSとの位置関係及び／又は材料制御点MCPとフォーカス位置CP#1との位置関係を変更してもよい。

[0083] フォーカス制御光学系2145から射出された加工光EL#1は、ガルバノミラー2146に入射する。ガルバノミラー2146は、加工光EL#1を偏向することで、ガルバノミラー2146から射出される加工光EL#1の射出方向を変更する。このため、ガルバノミラー2146は、偏向光学系と称されてもよい。

[0084] ガルバノミラー2146から射出される加工光EL#1の射出方向が変更されると、加工ヘッド21から加工光EL#1が射出される位置が変更される。加工ヘッド21から加工光EL#1が射出される位置が変更されると、造形面MS上において加工光EL#1が照射される目標照射領域EA#1が移動する。つまり、造形面MS上において加工光EL#1が照射される照射位置が移動する。このため、ガルバノミラー2146は、造形面MS上での

加工光EL#1の照射位置を造形面MS上で移動させることが可能な照射位置移動装置として機能しているとみなしてもよい。

[0085] 更に、加工ヘッド21から加工光EL#1が射出される位置が変更されると、材料ノズル212と造形面MSとの間においてZ軸に交差する仮想的な材料供給面PL内において加工光EL#1が通過するビーム通過領域PA#1が移動する。つまり、材料供給面PL内において加工光EL#1が通過する通過位置が移動する。このため、ガルバノミラー2146は、材料供給面PL内において加工光EL#1の通過位置を移動させることが可能な通過位置移動装置として機能しているとみなしてもよい。

[0086] ガルバノミラー2146は、例えば、X走査ミラー2146MXと、X走査モータ2146AXと、Y走査ミラー2146MYと、Y走査モータ2146AYとを含む。フォーカス制御光学系2145から射出された加工光EL#1は、X走査ミラー2146MXに入射する。X走査ミラー2146MXは、X走査ミラー2146MXに入射した加工光EL#1を、Y走査ミラー2146MYに向けて反射する。Y走査ミラー2146MYは、Y走査ミラー2146MYに入射した加工光EL#1を、第3光学系216に向けて反射する。尚、X走査ミラー2146MX及びY走査ミラー2146MYのそれぞれが、ガルバノミラーと称されてもよい。

[0087] X走査モータ2146AXは、X走査ミラー2146MXを、Y軸に沿った回転軸周りに揺動又は回転させる。その結果、X走査ミラー2146MXに入射する加工光EL#1の光路に対するX走査ミラー2146MXの角度が変更される。この場合、X走査ミラー2146MXの揺動又は回転により、加工光EL#1は、造形面MSをX軸方向に沿って走査する。つまり、目標照射領域EA#1（つまり、加工光EL#1の照射位置）は、造形面MS上をX軸方向に沿って移動する。更に、X走査ミラー2146MXの揺動又は回転により、加工光EL#1は、材料供給面PLをX軸方向に沿って走査する。つまり、加工光EL#1のビーム通過領域PA#1（つまり、加工光EL#1の通過位置）は、材料供給面PL内をX軸方向に沿って移動する。

[0088] Y走査モータ2146AYは、Y走査ミラー2146MYを、X軸に沿った回転軸周りに揺動又は回転させる。その結果、Y走査ミラー2146MYに入射する加工光EL#1の光路に対するY走査ミラー2146MYの角度が変更される。この場合、Y走査ミラー2146MYの揺動又は回転により、加工光EL#1は、造形面MSをY軸方向に沿って走査する。つまり、目標照射領域EA#1（つまり、加工光EL#1の照射位置）は、造形面MS上をY軸方向に沿って移動する。更に、Y走査ミラー2146MYの揺動又は回転により、加工光EL#1は、材料供給面PLをY軸方向に沿って走査する。つまり、加工光EL#1のビーム通過領域PA#1（つまり、加工光EL#1の通過位置）は、材料供給面PL内をY軸方向に沿って移動する。

[0089] 本実施形態では、ガルバノミラー2146が造形面MS上で目標照射領域EA#1を移動させる仮想的な領域を、加工単位領域PUA（特に、加工単位領域PUA#1）と称する。この場合、目標照射領域EA#1は、造形面MSのうち加工単位領域PUA#1と重複する面上を移動するとみなしてもよい。具体的には、照射光学系211と造形面MSとの位置関係を固定した状態で（つまり、変更することなく）ガルバノミラー2146が造形面MS上で目標照射領域EA#1を移動させる仮想的な領域を、加工単位領域PUA（特に、加工単位領域PUA#1）と称する。加工単位領域PUA#1は、照射光学系211と造形面MSとの位置関係を固定した状態で加工ヘッド21が加工光EL#1を用いて実際に付加加工を行う仮想的な領域（言い換えれば、範囲）を示す。加工単位領域PUA#1は、照射光学系211と造形面MSとの位置関係を固定した状態で加工ヘッド21が加工光EL#1で実際に走査する仮想的な領域（言い換えれば、範囲）を示す。加工単位領域PUA#1は、照射光学系211と造形面MSとの位置関係を固定した状態で目標照射領域EA#1が実際に移動する領域（言い換えれば、範囲）を示す。このため、加工単位領域PUA#1は、加工ヘッド21（特に、照射光学系211）を基準に定まる仮想的な領域であるとみなしてもよい。つまり、加工単位領域PUA#1は、造形面MS上において、加工ヘッド21（特

に、照射光学系 2 1 1) を基準に定まる位置に位置する仮想的な領域であるとみなしてもよい。尚、照射光学系 2 1 1 と造形面 MS との位置関係を固定した状態でガルバノミラー 2 1 4 6 が造形面 MS 上で目標照射領域 EA # 1 を移動することが可能な最大領域を、加工単位領域 PUA # 1 と称してもよい。

[0090] この場合、加工システム SYS は、ガルバノミラー 2 1 4 6 を用いて、加工単位領域 PUA # 1 内において目標照射領域 EA # 1 を移動させることができる。このため、ガルバノミラー 2 1 4 6 を用いて加工光 EL # 1 を偏向する動作は、加工単位領域 PUA # 1 内において目標照射領域 EA # 1 を移動させる動作と等価であるとみなしてもよい。更に、目標照射領域 EA # 1 に加工光 EL # 1 が照射されることで、溶融池 MP # 1 が形成されることは、上述したとおりである。この場合、加工システム SYS は、ガルバノミラー 2 1 4 6 を用いて、加工単位領域 PUA # 1 内において溶融池 MP # 1 を移動させているとみなしてもよい。このため、ガルバノミラー 2 1 4 6 を用いて加工光 EL # 1 を偏向する動作は、加工単位領域 PUA # 1 内において溶融池 MP # 1 を移動させる動作と等価であるとみなしてもよい。つまり、加工単位領域 PUA # 1 内において目標照射領域 EA # 1 を移動させる動作は、加工単位領域 PUA # 1 内において溶融池 MP # 1 を移動させる動作と等価であるとみなしてもよい。

[0091] 尚、上述したように、加工ヘッド 2 1 及びステージ 3 1 の少なくとも一方が移動しても、目標照射領域 EA # 1 が造形面 MS 上において移動する。しかしながら、加工ヘッド 2 1 及びステージ 3 1 の少なくとも一方が移動する場合には、ガルバノミラー 2 1 4 6 と造形面 MS との相対的な位置関係が変わる。その結果、加工ヘッド 2 1 を基準に定まる加工単位領域 PUA # 1 (つまり、ガルバノミラー 2 1 4 6 が造形面 MS 上で目標照射領域 EA # 1 を移動させる加工単位領域 PUA # 1) が造形面 MS 上で移動する。このため、本実施形態では、加工ヘッド 2 1 及びステージ 3 1 の少なくとも一方を移動させる動作は、造形面 MS に対して加工単位領域 PUA # 1 を移動させる

動作と等価であるとみなしてもよい。

[0092] 加工単位領域PUA#1内において目標照射領域EA#1を移動させる動作の一例として、図6(a)に示すように、ガルバノミラー2146は、加工単位領域PUA#1が造形面MS上で静止している（つまり、移動していない）と仮定した状況下において、加工単位領域PUA#1内において、目標照射領域EA#1が、造形面MSに沿った単一の走査方向に沿って移動するように、加工光EL#1を偏向してもよい。つまり、ガルバノミラー2146は、加工単位領域PUA#1を基準に定まる座標系内において、目標照射領域EA#1が単一の走査方向に沿って移動するように、加工光EL#1を偏向してもよい。特に、ガルバノミラー2146は、加工単位領域PUA#1内において目標照射領域EA#1が単一の走査方向に沿って周期的に往復移動するように、加工光EL#1を偏向してもよい。つまり、ガルバノミラー2146は、加工単位領域PUA#1内において目標照射領域EA#1が単一の走査方向に沿った軸上で周期的に往復移動するように、加工光EL#1を偏向してもよい。この場合、目標照射領域EA#1が移動する加工単位領域PUA#1の形状は、目標照射領域EA#1の移動方向が長手方向となる矩形の形状となってもよい。

[0093] 加工単位領域PUA#1内において目標照射領域EA#1を移動させる動作の他の一例として、図7(a)及び図7(b)に示すように、ガルバノミラー2146は、加工単位領域PUA#1が造形面MS上で静止している（つまり、移動していない）と仮定した状況下において、加工単位領域PUA#1内において、目標照射領域EA#1が、造形面MSに沿った複数の走査方向に沿って移動するように、加工光EL#1を偏向してもよい。つまり、ガルバノミラー2146は、加工単位領域PUA#1を基準に定まる座標系内において、目標照射領域EA#1が複数の走査方向に沿って移動するように、加工光EL#1を偏向してもよい。特に、ガルバノミラー2146は、加工単位領域PUA#1内において目標照射領域EA#1が複数の走査方向のそれぞれに沿って周期的に往復移動するように、加工光EL#1を偏向し

てもよい。つまり、ガルバノミラー2146は、加工単位領域PUA#1内において目標照射領域EA#1が複数の走査方向のそれぞれに沿った軸上で周期的に往復移動するように、加工光EL#1を偏向してもよい。図7(a)は、加工単位領域PUA#1内における目標照射領域EA#1の移動軌跡が円形となるように、加工単位領域PUA#1内において目標照射領域EA#1がX軸方向及びY軸方向のそれぞれに沿って往復移動する例を示している。この場合、目標照射領域EA#1が移動する加工単位領域PUA#1の形状は、円形となってもよい。図7(b)は、加工単位領域PUA#1内における目標照射領域EA#1の移動軌跡が網目状の形状となるように、加工単位領域PUA#1内において目標照射領域EA#1がX軸方向及びY軸方向のそれぞれに沿って往復移動する例を示している。この場合、目標照射領域EA#1が移動する加工単位領域PUA#1の形状は、矩形となってもよい。

[0094] 尚、図6(a)、図7(a)及び図7(b)のそれぞれに示すように造形面MS上で目標照射領域EA#1を周期的に移動させる動作を、ウォブリング動作と称してもよい。言い換えれば、造形面MS上で目標照射領域EA#1が周期的に移動するように加工光EL#1を周期的に移動させる(言い換えれば、偏向する)動作を、ウォブリング動作と称してもよい。

[0095] 制御ユニット7は、ガルバノミラー2146を用いて加工単位領域PUA#1内において目標照射領域EA#1を移動させている期間中に、造形面MS上を加工単位領域PUA#1が移動するように、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てもよい。つまり、制御ユニット7は、ガルバノミラー2146を用いて加工単位領域PUA#1内において目標照射領域EA#1を移動させている期間中に、造形面MS上を加工単位領域PUA#1が移動するように、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してもよい。

[0096] 例えば、図6(a)に示す例において、制御ユニット7は、加工単位領域PUA#1内での目標照射領域EA#1の移動方向(つまり、走査方向)と

交差する（場合によっては、直交する）目標移動軌跡MT0に沿って、加工単位領域PUA#1が移動するように、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してもよい。逆に言えば、制御ユニット7は、造形面MS上での加工単位領域PUA#1の目標移動軌跡MT0と交差する（場合によっては、直交する）走査方向に沿って、目標照射領域EA#1が周期的に移動するように、ガルバノミラー2146を制御してもよい。その結果、造形面MS上において、目標照射領域EA#1は、図6（b）に示す移動軌跡MT#1に沿って移動してもよい。具体的には、目標照射領域EA#1は、加工単位領域PUA#1の目標移動軌跡MT0に沿って移動しながら、目標移動軌跡MT0に交差する走査方向に沿って移動してもよい。つまり、目標照射領域EA#1は、目標移動軌跡MT0を中心に振動する波形状（例えば、正弦波形状）の移動軌跡MT#1に沿って移動してもよい。

[0097] 例えば、図7（a）又は図7（b）に示す例において、制御ユニット7は、加工単位領域PUA#1内での目標照射領域EA#1の移動方向（つまり、走査方向）に沿った方向及び加工単位領域PUA#1内での目標照射領域EA#1の移動方向に交差する（場合によっては、直交する）方向の少なくとも一つに沿って延びる目標移動軌跡MT0に沿って、加工単位領域PUA#1が移動するように、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してもよい。逆に言えば、制御ユニット7は、造形面MS上での加工単位領域PUA#1の目標移動軌跡MT0に沿った走査方向及び目標移動軌跡MT0に交差する（場合によっては、直交する）走査方向のそれぞれに沿って、目標照射領域EA#1が周期的に移動するように、ガルバノミラー2146を制御してもよい。尚、図7（c）は、図7（a）に示す加工単位領域PUA#1が造形面MS上を目標移動軌跡MT0に沿って移動した場合の、造形面MS上での目標照射領域EA#1の移動軌跡MT#1を示している。

[0098] 加工単位領域PUA#1の単位で加工光EL#1が造形面MSに照射される場合には、加工単位領域PUA#1の少なくとも一部に溶融池MP#1が

形成される。その結果、加工単位領域 P U A # 1 内に造形物が造形される。ここで、上述したように、加工単位領域 P U A # 1 は、造形面 M S 上での加工単位領域 P U A # 1 の移動方向（具体的には、目標移動軌跡 M T O が延びる方向）と交差する方向に幅を有する領域である。この場合、加工単位領域 P U A # 1 の目標移動軌跡 M T O に交差する方向に沿って幅を有する造形物が造形面 M S 上に造形される。例えば、図 6 (a) 及び図 6 (b) に示す例では、 X 軸方向に沿って幅を有すると共に Y 軸方向に沿って延びる造形物が造形される。例えば、図 7 (a) 及び図 7 (c) に示す例では、 X 軸方向に沿って幅を有すると共に Y 軸方向に沿って延びる造形物が造形される。

[0099] 加工単位領域 P U A # 1 の単位で加工光 E L # 1 が造形面 M S に照射される場合には、ガルバノミラー 2 1 4 6 によって加工単位領域 P U A # 1 が加工光 E L # 1 で走査される。このため、ガルバノミラー 2 1 4 6 を用いることなく加工光 E L # 1 が造形面 M S に照射される場合と比較して、加工光 E L # 1 から加工単位領域 P U A # 1 に伝達されるエネルギー量の大きさが、加工単位領域 P U A # 1 内においてばらつく可能性が低くなる。つまり、加工光 E L # 1 から加工単位領域 P U A # 1 に伝達されるエネルギー量の分布の均一化を図ることができる。その結果、加工システム S Y S は、造形面 M S に造形物を相対的に高い造形精度で造形することができる。

[0100] 但し、加工システム S Y S は、加工単位領域 P U A # 1 の単位で加工光 E L # 1 を造形面 M S に照射しなくてもよい。加工システム S Y S は、ガルバノミラー 2 1 4 6 を用いることなく、加工光 E L # 1 を造形面 M S に照射してもよい。加工システム S Y S は、ウォブリング動作を必ずしも行わなくてもよい。この場合、目標照射領域 E A # 1 は、加工ヘッド 2 1 及びステージ 3 1 の少なくとも一方の移動に伴って、造形面 M S 上を移動してもよい。

[0101] また、加工システム S Y S は、造形面 M S 上で目標照射領域 E A # 1 を非周期的に移動させてもよい。尚、造形面 M S 上で目標照射領域 E A # 1 を非周期的に移動させる動作の一例は、後述する加工システム S Y S の第 1 変形例（図 4 6 から図 5 2 参照）に記載されている。

[0102] 再び図5において、平行平板2142によって反射された加工光EL#1は、パワーメータ2143に入射する。パワーメータ2143は、パワーメータ2143に入射した加工光EL#1の強度を検出可能である。例えば、パワーメータ2143は、加工光EL#1を光として検出する受光素子を含んでいてもよい。或いは、加工光EL#1の強度が高くなるほど、加工光EL#1が生成するエネルギー量が多くなる。その結果、加工光EL#1が発生する熱量が多くなる。このため、パワーメータ2143は、加工光EL#1を熱として検出することで、加工光EL#1の強度を検出してもよい。この場合、パワーメータ2143は、加工光EL#1の熱を検出する熱検出素子を含んでいてもよい。

[0103] 上述したように、パワーメータ2143には、平行平板2142によって反射された加工光EL#1が入射する。このため、パワーメータ2143は、平行平板2142によって反射された加工光EL#1の強度を検出する。平行平板2142が光源4#1とガルバノミラー2146との間における加工光EL#1の光路上に配置されているがゆえに、パワーメータ2143は、光源4#1とガルバノミラー2146との間における光路を進行する加工光EL#1の強度を検出しているとみなしてもよい。この場合、パワーメータ2143は、ガルバノミラー2146による加工光EL#1の偏向の影響を受けることなく、加工光EL#1の強度を安定的に検出することができる。但し、パワーメータ2143の配置位置が、図5に示す例に限定されることはない。例えば、パワーメータ2143は、ガルバノミラー2146と造形面MSとの間における光路を進行する加工光EL#1の強度を検出してもよい。パワーメータ2143は、ガルバノミラー2146内における光路を進行する加工光EL#1の強度を検出してもよい。

[0104] パワーメータ2143の検出結果は、制御ユニット7に出力される。制御ユニット7は、パワーメータ2143の検出結果（つまり、加工光EL#1の強度の検出結果）に基づいて、加工光EL#1の強度を制御（言い換えれば、変更）してもよい。例えば、制御ユニット7は、造形面MSにおける加

加工光EL#1の強度が所望強度となるように、加工光EL#1の強度を制御してもよい。例えば、制御ユニット7は、造形面MSと材料ノズル212との間の仮想的な材料供給面PLにおける加工光EL#1の強度が所望強度となるように、加工光EL#1の強度を制御してもよい。加工光EL#1の強度を制御するために、例えば、制御ユニット7は、パワーメータ2143の検出結果に基づいて、光源4#1から射出される加工光EL#1の強度を変更するように、光源4#1を制御してもよい。その結果、加工システムSYSは、適切な強度を有する加工光EL#1を造形面MSに照射することで、造形面MSに造形物を適切に造形することができる。

[0105] 上述したように、加工光EL#1は、造形材料Mを溶融させることが可能な強度を有している。このため、パワーメータ2143に入射する加工光EL#1が、造形材料Mを溶融させることが可能な強度を有する可能性がある。しかしながら、造形材料Mを溶融させることが可能な強度を有する加工光EL#1がパワーメータ2143に入射すると、パワーメータ2143が加工光EL#1によって損傷する可能性がある。このため、パワーメータ2143には、パワーメータ2143を損傷させるほどには高くない強度を有する加工光EL#1が入射してもよい。言い換えれば、第1光学系214は、パワーメータ2143を損傷させるほどには高くない強度を有する加工光EL#1がパワーメータ2143に入射するように、パワーメータ2143に入射する加工光EL#1の強度を弱めてもよい。

[0106] 例えば、パワーメータ2143に入射する加工光EL#1の強度を弱めるために、加工光EL#1に対する平行平板2142の反射率が適切な値に設定されていてもよい。具体的には、加工光EL#1に対する平行平板2142の反射率が低くなればなるほど、パワーメータ2143に入射する加工光EL#1の強度が低くなる。このため、平行平板2142の反射率は、パワーメータ2143を損傷させるほどには高くない強度を有する加工光EL#1がパワーメータ2143に入射する状態を実現することが可能な程度に低い値に設定されていてもよい。例えば、平行平板2142の反射率は、10

%未満であってもよい。例えば、平行平板2142の反射率は、数%未満であってもよい。このような反射率が低い平行平板2142として、素ガラスが用いられてもよい。

[0107] 例えば、パワーメータ2143に入射する加工光EL#1の強度を弱めるために、第1光学系214は、複数の平行平板2142を介して、加工光EL#1をパワーメータ2143に入射させてもよい。具体的には、複数の平行平板2142によってそれぞれ複数回反射された加工光EL#1が、パワーメータ2143に入射してもよい。この場合、複数の平行平板2142によってそれぞれ複数回反射された加工光EL#1の強度は、一枚の平行平板2142によって一回反射された加工光EL#1の強度よりも弱くなる。このため、パワーメータ2143を損傷させるほどには高くない強度を有する加工光EL#1がパワーメータ2143に入射する可能性が高くなる。

[0108] 平行平板2142の表面（特に、加工光EL#1が入射する入射面及び加工光EL#1が反射される反射面の少なくとも一つ）には、所望のコーティング処理が施されていてもよい。例えば、平行平板2142の表面には、反射防止コーティング処理（AR: Anti Reflection Coating）が施されていてもよい。

[0109] 第2光学系215は、コリメータレンズ2151と、平行平板2152と、パワーメータ2153と、ガルバノスキャナ2154とを備える。ガルバノスキャナ2154は、フォーカス制御光学系2155と、ガルバノミラー2156とを備える。但し、第2光学系215は、コリメータレンズ2151、平行平板2152、パワーメータ2153及びガルバノスキャナ2154の少なくとも一つを備えていなくてもよい。ガルバノスキャナ2154は、フォーカス制御光学系2155及びガルバノミラー2156の少なくとも一つを備えていなくてもよい。

[0110] 光源4#2から射出される加工光EL#2は、コリメータレンズ2151に入射する。コリメータレンズ2151は、コリメータレンズ2151に入射した加工光EL#2を平行光に変換する。尚、光源4#2から射出される

加工光E L # 2が平行光である（つまり、平行光である加工光E L # 2が第2光学系2 1 5に入射する）場合には、第2光学系2 1 5は、コリメータレンズ2 1 5 1を備えていなくてもよい。コリメータレンズ2 1 5 1が平行光に変換した加工光E L # 2は、平行平板2 1 5 2に入射する。平行平板2 1 5 2は、平行平板2 1 5 2に入射する加工光E L # 2の光路に対して、斜設されている。平行平板2 1 5 2に入射した加工光E L # 2の一部は、平行平板2 1 5 2を通過する。平行平板2 1 5 2に入射した加工光E L # 2の他の一部は、平行平板2 1 5 2によって反射される。

[0111] 平行平板2 1 5 2を通過した加工光E L # 2は、ガルバノスキャナ2 1 5 4に入射する。具体的には、平行平板2 1 5 2を通過した加工光E L # 2は、ガルバノスキャナ2 1 5 4のフォーカス制御光学系2 1 5 5に入射する。

[0112] フォーカス制御光学系2 1 5 5は、加工光E L # 2のフォーカス位置C P（以降、“フォーカス位置C P # 2”と称する）を変更可能な光学部材である。尚、本実施形態では、加工光E L # 2のフォーカス位置C P # 2は、加工光E L # 2が集光される集光位置を意味していてもよい。加工光E L # 2のフォーカス位置C P # 2は、加工光E L # 2の照射方向（進行方向）において加工光E L # 2が最も収斂している収斂位置を意味していてもよい。

[0113] 具体的には、フォーカス制御光学系2 1 5 5は、加工光E L # 2のフォーカス位置C P # 2を、照射光学系2 1 1から射出される加工光E L # 2の照射方向に沿って変更可能である。図5に示す例では、照射光学系2 1 1から射出される加工光E L # 2の照射方向は、Z軸方向が主成分となる方向である。この場合、フォーカス制御光学系2 1 5 5は、加工光E L # 2のフォーカス位置C P # 2をZ軸方向に沿って変更可能である。また、照射光学系2 1 1がワークWの上方から加工光E Lを造形面M Sに照射するがゆえに、加工光E L # 2の照射方向は、造形面M S（例えば、ワークW又は構造層S Lの表面）に交差する方向である。このため、フォーカス制御光学系2 1 5 5は、加工光E L # 2のフォーカス位置C P # 2を、造形面M S（例えば、ワークW又は構造層S Lの表面）に交差する方向に沿って変更可能であるとみ

なしてもよい。フォーカス制御光学系 2 1 5 5 は、加工光 E L # 2 のフォーカス位置 C P # 2 を、照射光学系 2 1 1（典型的には第 3 光学系 2 1 6）の光軸 A X の方向に沿って変更可能であるとみなしてもよい。

[0114] 尚、加工光 E L # 2 の照射方向は、第 3 光学系 2 1 6 から射出される加工光 E L # 2 の照射方向を意味していてもよい。この場合、加工光 E L # 2 の照射方向は、第 3 光学系 2 1 6 の光軸に沿った方向と同一であってもよい。加工光 E L # 2 の照射方向は、第 3 光学系 2 1 6 を構成する光学部材のうち最も造形面 M S 側に配置される最終光学部材の光軸に沿った方向と同一であってもよい。最終光学部材は、後述する $f \theta$ レンズ 2 1 6 2 であってもよい。また、後述する $f \theta$ レンズ 2 1 6 2 が複数の光学部材で構成される場合、最終光学部材は、 $f \theta$ レンズ 2 1 6 2 を構成する複数の光学部材のうち最も造形面 M S 側に配置される光学部材であってもよい。

[0115] 尚、照射光学系 2 1 1 は、第 3 光学系 2 1 6 を備えていなくてもよい。照射光学系 2 1 1 が第 3 光学系 2 1 6 を備えていない場合には、最終光学部材は、第 2 光学系 2 1 5 を構成する複数の光学部材のうち最も造形面 M S 側に配置される光学部材（Y 走査ミラー 2 1 5 6 M Y）であってもよい。

[0116] フォーカス制御光学系 2 1 5 5 は、例えば、加工光 E L # 2 の照射方向に沿って並ぶ複数の光学部材（例えば、複数枚のレンズ）を含んでいてもよい。この場合、フォーカス制御光学系 2 1 5 5 は、複数の光学部材のうち少なくとも一つをその光軸方向に沿って動かすことで、加工光 E L # 2 のフォーカス位置 C P # 2 を変更してもよい。

[0117] フォーカス制御光学系 2 1 5 5 が加工光 E L # 2 のフォーカス位置 C P # 2 を変更すると、加工光 E L # 2 のフォーカス位置 C P # 2 と造形面 M S との間の位置関係が変わる。特に、加工光 E L # 2 の照射方向（つまり、Z 軸方向）における加工光 E L # 2 のフォーカス位置 C P # 2 と造形面 M S との間の位置関係が変わる。このため、フォーカス制御光学系 2 1 5 5 は、加工光 E L # 2 のフォーカス位置 C P # 2 を変更することで、加工光 E L # 2 のフォーカス位置 C P # 2 と造形面 M S との間の位置関係（特に、Z 軸方向に

おける位置関係)を変更しているとみなしてもよい。フォーカス制御光学系2155は、加工光EL#2のフォーカス位置CP#2を変更することで、加工光EL#2のフォーカス位置CP#2と造形面MSとの間の距離(特に、Z軸方向における距離)を変更しているとみなしてもよい。

[0118] フォーカス制御光学系2155が加工光EL#2のフォーカス位置CP#2を変更すると、加工光EL#2のフォーカス位置CP#2と材料制御点MCPとの間の位置関係が変わる。特に、加工光EL#2の照射方向(つまり、Z軸方向)における加工光EL#2のフォーカス位置CP#2と材料制御点MCPとの間の位置関係が変わる。このため、フォーカス制御光学系2155は、加工光EL#2のフォーカス位置CP#2を変更することで、加工光EL#1のフォーカス位置CP#2と材料制御点MCPとの間の位置関係(特に、Z軸方向における位置関係)を変更しているとみなしてもよい。フォーカス制御光学系2155は、加工光EL#2のフォーカス位置CP#2を変更することで、加工光EL#1のフォーカス位置CP#2と材料制御点MCPとの間の距離(特に、Z軸方向における距離)を変更しているとみなしてもよい。尚、図5は、材料制御点MCPが造形面MSの下方に位置する例を示しているが、上述したように、材料制御点MCPは、造形面MSの上方に位置していてもよいし、造形面MS上に位置していてもよい。

[0119] 尚、上述したように、ガルバノスキャナ2154は、フォーカス制御光学系2155を備えていなくてもよい。この場合であっても、加工光EL#2の照射方向における照射光学系211と造形面MSとの位置関係が変わると、加工光EL#2の照射方向における加工光EL#2のフォーカス位置CP#2と造形面MSとの間の位置関係が変わる。このため、ガルバノスキャナ2154がフォーカス制御光学系2155を備えていない場合であっても、加工システムSYSは、加工光EL#2の照射方向における加工光EL#2のフォーカス位置CP#2と造形面MSとの間の位置関係を変更することができる。例えば、加工システムSYSは、ヘッド駆動系22を用いて、加工光EL#2の照射方向に沿って加工ヘッド21を移動させることで、加工光

EL # 2の照射方向における加工光EL # 2のフォーカス位置CP # 2と造形面MSとの間の位置関係を変更してもよい。例えば、加工システムSYSは、ステージ駆動系32を用いて、加工光EL # 2の照射方向に沿ってステージ31を移動させることで、加工光EL # 2の照射方向における加工光EL # 2のフォーカス位置CP # 2と造形面MSとの間の位置関係を変更してもよい。尚、加工システムSYSが、ヘッド駆動系22及びステージ駆動系32のうち少なくとも一方を用いて、加工光EL # 2の照射方向における加工光EL # 2のフォーカス位置CP # 2と造形面MSとの間の位置関係を変更する場合には、加工システムSYSは、合わせて、ノズル駆動系23を用いて材料ノズル212を移動させることで、材料制御点MCPと造形面MSとの位置関係及び／又は材料制御点MCPとフォーカス位置CP # 2との位置関係を変更してもよい。

[0120] フォーカス制御光学系2155から射出された加工光EL # 2は、ガルバノミラー2156に入射する。ガルバノミラー2156は、加工光EL # 2を偏向することで、ガルバノミラー2156から射出される加工光EL # 2の射出方向を変更する。このため、ガルバノミラー2156は、偏向光学系と称されてもよい。ガルバノミラー2156から射出される加工光EL # 2の射出方向が変更されると、加工ヘッド21から加工光EL # 2が射出される位置が変更される。

[0121] 加工ヘッド21から加工光EL # 2が射出される位置が変更されると、造形面MS上において加工光EL # 2が照射される目標照射領域EA # 2が移動する。つまり、造形面MS上において加工光EL # 2が照射される照射位置が移動する。このため、ガルバノミラー2156は、造形面MS上での加工光EL # 2の照射位置を移動させることが可能な照射位置移動装置として機能しているとみなしてもよい。

[0122] 更に、加工ヘッド21から加工光EL # 2が射出される位置が変更されると、材料ノズル212と造形面MSとの間においてZ軸に交差する仮想的な材料供給面PL内において加工光EL # 2が通過するビーム通過領域PA #

2が移動する。つまり、材料供給面PL内において加工光EL#2が通過する通過位置が移動する。このため、ガルバノミラー2156は、材料供給面PL内において加工光EL#2の通過位置を移動させることが可能な通過位置移動装置として機能しているとみなしてもよい。

[0123] ガルバノミラー2156は、例えば、X走査ミラー2156MXと、X走査モータ2156AXと、Y走査ミラー2156MYと、Y走査モータ2156AYとを含む。フォーカス制御光学系2155から射出された加工光EL#2は、X走査ミラー2156MXに入射する。X走査ミラー2156MXは、X走査ミラー2156MXに入射した加工光EL#2を、Y走査ミラー2156MYに向けて反射する。Y走査ミラー2156MYは、Y走査ミラー2156MYに入射した加工光EL#2を、第3光学系216に向けて反射する。尚、X走査ミラー2156MX及びY走査ミラー2156MYのそれぞれが、ガルバノミラーと称されてもよい。

[0124] X走査モータ2156AXは、X走査ミラー2156MXを、Y軸に沿った回転軸周りに揺動又は回転させる。その結果、X走査ミラー2156MXに入射する加工光EL#2の光路に対するX走査ミラー2156MXの角度が変更される。この場合、X走査ミラー2156MXの揺動又は回転により、加工光EL#2は、造形面MSをX軸方向に沿って走査する。つまり、目標照射領域EA#2（つまり、加工光EL#2の照射位置）は、造形面MS上をX軸方向に沿って移動する。更に、X走査ミラー2156MXの揺動又は回転により、加工光EL#2は、材料供給面PLをX軸方向に沿って走査する。つまり、加工光EL#2のビーム通過領域PA#2（つまり、加工光EL#2の通過位置）は、材料供給面PL内をX軸方向に沿って移動する。

[0125] Y走査モータ2156AYは、Y走査ミラー2156MYを、X軸に沿った回転軸周りに揺動又は回転させる。その結果、Y走査ミラー2156MYに入射する加工光EL#2の光路に対するY走査ミラー2156MYの角度が変更される。この場合、Y走査ミラー2156MYの揺動又は回転により、加工光EL#2は、造形面MSをY軸方向に沿って走査する。つまり、目

標照射領域EA#2（つまり、加工光EL#2の照射位置）は、造形面MS上をY軸方向に沿って移動する。更に、Y走査ミラー2156MYの揺動又は回転により、加工光EL#2は、材料供給面PLをY軸方向に沿って走査する。つまり、加工光EL#2のビーム通過領域PA#2（つまり、加工光EL#2の通過位置）は、材料供給面PL内をX軸方向に沿って移動する。

[0126] 本実施形態では、ガルバノミラー2156が造形面MS上で目標照射領域EA#2を移動させる仮想的な領域を、加工単位領域PUA（特に、加工単位領域PUA#2）と称する。この場合、目標照射領域EA#2は、造形面MSのうち加工単位領域PUA#2と重複する面（第1面）上を移動するとみなしてもよい。具体的には、照射光学系211と造形面MSとの位置関係を固定した状態で（つまり、変更することなく）ガルバノミラー2156が造形面MS上で目標照射領域EA#2を移動させる仮想的な領域を、加工単位領域PUA（特に、加工単位領域PUA#2）と称する。加工単位領域PUA#2は、照射光学系211と造形面MSとの位置関係を固定した状態で加工ヘッド21が加工光EL#2を用いて実際に付加加工を行う仮想的な領域（言い換えれば、範囲）を示す。加工単位領域PUA#2は、照射光学系211と造形面MSとの位置関係を固定した状態で加工ヘッド21が加工光EL#2で実際に走査する仮想的な領域（言い換えれば、範囲）を示す。加工単位領域PUA#2は、照射光学系211と造形面MSとの位置関係を固定した状態で目標照射領域EA#2が実際に移動する領域（言い換えれば、範囲）を示す。このため、加工単位領域PUA#2は、加工ヘッド21（特に、照射光学系211）を基準に定まる仮想的な領域であるとみなしてもよい。つまり、加工単位領域PUA#2は、造形面MS上において、加工ヘッド21（特に、照射光学系211）を基準に定まる位置に位置する仮想的な領域であるとみなしてもよい。尚、照射光学系211と造形面MSとの位置関係を固定した状態でガルバノミラー2146が造形面MS上で目標照射領域EA#2を移動することが可能な最大領域を、加工単位領域PUA#2と称してもよい。

[0127] この場合、加工システムSYSは、ガルバノミラー2156を用いて、加工単位領域PUA#2内において目標照射領域EA#2を移動させることができる。このため、ガルバノミラー2156を用いて加工光EL#2を偏向する動作は、加工単位領域PUA#2内において目標照射領域EA#2を移動させる動作と等価であるとみなしてもよい。更に、目標照射領域EA#2に加工光EL#2が照射されることで、溶融池MP#2が形成されることは、上述したとおりである。この場合、加工システムSYSは、ガルバノミラー2156を用いて、加工単位領域PUA#2内において溶融池MP#2を移動させているとみなしてもよい。このため、ガルバノミラー2156を用いて加工光EL#2を偏向する動作は、加工単位領域PUA#2内において溶融池MP#2を移動させる動作と等価であるとみなしてもよい。つまり、加工単位領域PUA#2内において目標照射領域EA#2を移動させる動作は、加工単位領域PUA#2内において溶融池MP#2を移動させる動作と等価であるとみなしてもよい。

[0128] 尚、上述したように、加工ヘッド21及びステージ31の少なくとも一方が移動すると、目標照射領域EA#2が造形面MS上において移動する。しかしながら、加工ヘッド21及びステージ31の少なくとも一方が移動する場合には、ガルバノミラー2146と造形面MSとの相対的な位置関係が変わる。その結果、加工ヘッド21を基準に定まる加工単位領域PUA#2（つまり、ガルバノミラー2156が造形面MS上で目標照射領域EA#2を移動させる加工単位領域PUA#2）が造形面MS上で移動する。このため、本実施形態では、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動作は、造形面MSに対して加工単位領域PUA#2を移動させる動作と等価であるとみなしてもよい。

[0129] 加工単位領域PUA#2の特徴（例えば、形状及び移動態様等）は、上述した加工単位領域PUA#1の特徴と同一であってもよい。加工単位領域PUA#2内での目標照射領域EA#2の移動態様（例えば、移動軌跡等）は、上述した加工単位領域PUA#1内での目標照射領域EA#1の移動態様

と同一であってもよい。このため、加工単位領域 P U A # 2 の特徴及び加工単位領域 P U A # 2 内での目標照射領域 E A # 2 の移動態様（例えば、移動軌跡等）の詳細な説明は省略するが、以下のその一例について簡単に説明する。図 6（a）に示すように、ガルバノミラー 2 1 5 6 は、加工単位領域 P U A # 2 が造形面 M S 上で静止している（つまり、移動していない）と仮定した状況下において、加工単位領域 P U A # 2 内において、目標照射領域 E A # 2 が、造形面 M S に沿った単一の走査方向に沿って移動するように、加工光 E L # 2 を偏向してもよい。図 6（a）に示す加工単位領域 P U A # 2 が造形面 M S 上で目標移動軌跡 M T 0 に沿って移動することで、造形面 M S 上において、目標照射領域 E A # 2 は、図 6（b）に示す移動軌跡 M T # 2（例えば、目標移動軌跡 M T 0 を中心に振動する波形状の移動軌跡 M T # 2）に沿って移動してもよい。図 7（a）及び図 7（b）に示すように、ガルバノミラー 2 1 5 6 は、加工単位領域 P U A # 2 が造形面 M S 上で静止している（つまり、移動していない）と仮定した状況下において、加工単位領域 P U A # 2 内において目標照射領域 E A # 2 が複数の走査方向に沿って移動するように、加工光 E L # 2 を偏向してもよい。

[0130] 尚、図 6（a）、図 7（a）及び図 7（b）のそれぞれに示すように造形面 M S 上で目標照射領域 E A # 2 を周期的に移動させる動作を、ウォブリング動作と称してもよい。言い換えれば、造形面 M S 上で目標照射領域 E A # 2 を周期的に移動させるように加工光 E L # 2 を周期的に移動させる（言い換えれば、偏向する）動作を、ウォブリング動作と称してもよい。但し、加工システム S Y S は、造形面 M S 上で目標照射領域 E A # 2 が周期的に移動するように加工光 E L # 2 を周期的に移動させなくてもよい。つまり、加工システム S Y S は、ウォブリング動作を必ずしも行わなくてもよい。

[0131] 典型的には、加工単位領域 P U A # 1 と加工単位領域 P U A # 2 とは一致している。つまり、加工単位領域 P U A # 1 は、加工単位領域 P U A # 2 と同一である。このため、ガルバノミラー 2 1 5 6 は、加工単位領域 P U A # 1 内で目標照射領域 E A # 2 が移動するように加工光 E L # 2 を偏向してい

るとみなしてもよい。ガルバノミラー2146は、加工単位領域PUA#2内で目標照射領域EA#1が移動するように加工光EL#1を偏向しているとみなしてもよい。但し、加工単位領域PUA#1と加工単位領域PUA#2とは、部分的に異なってもよい。

[0132] 加工単位領域PUA#2の単位で加工光EL#2が造形面MSに照射される場合には、加工単位領域PUA#2の少なくとも一部に熔融池MP#2が形成される。その結果、加工単位領域PUA#2内に造形物が造形される。ここで、上述したように、加工単位領域PUA#2は、造形面MS上での加工単位領域PUA#2の移動方向（具体的には、目標移動軌跡MTOが延びる方向）と交差する方向に幅を有する領域である。この場合、加工単位領域PUA#2の目標移動軌跡MTOに交差する方向に沿って幅を有する造形物が造形面MS上に造形される。例えば、図6(a)及び図6(b)に示す例では、X軸方向に沿って幅を有すると共にY軸方向に沿って延びる造形物が造形される。例えば、図7(a)及び図7(c)に示す例では、X軸方向に沿って幅を有すると共にY軸方向に沿って延びる造形物が造形される。

[0133] 加工単位領域PUA#2の単位で加工光EL#2が造形面MSに照射される場合には、ガルバノミラー2156によって加工単位領域PUA#2が加工光EL#2で走査される。このため、ガルバノミラー2156を用いることなく加工光EL#2が造形面MSに照射される場合と比較して、加工光EL#2から加工単位領域PUA#2に伝達されるエネルギー量の大きさが、加工単位領域PUA#2内においてばらつく可能性が低くなる。つまり、加工光EL#2から加工単位領域PUA#2に伝達されるエネルギー量の均一化を図ることができる。その結果、加工システムSYSは、造形面MSに造形物を相対的に高い造形精度で造形することができる。

[0134] 但し、加工システムSYSは、加工単位領域PUA#2の単位で加工光EL#2を造形面MSに照射しなくてもよい。加工システムSYSは、ガルバノミラー2156を用いることなく、加工光EL#2を造形面MSに照射してもよい。加工システムSYSは、ウォブリング動作を必ずしも行わなくて

もよい。この場合、目標照射領域E A # 2は、加工ヘッド2 1及びステージ3 1の少なくとも一方の移動に伴って、造形面MS上を移動してもよい。

[0135] また、加工システムS Y Sは、造形面MS上で目標照射領域E A # 2を非周期的に移動させてもよい。尚、造形面MS上で目標照射領域E A # 2を非周期的に移動させる動作の一例は、後述する加工システムS Y Sの第1変形例（図4 6から図5 2参照）に記載されている。

[0136] 再び図5において、平行平板2 1 5 2によって反射された加工光E L # 2は、パワーメータ2 1 5 3に入射する。パワーメータ2 1 5 3は、加工光E L # 2を制御するために用いられる電気部品の一具体例である。具体的には、パワーメータ2 1 5 3は、パワーメータ2 1 5 3に入射した加工光E L # 2の強度を検出可能である。例えば、パワーメータ2 1 5 3は、加工光E L # 2を光として検出する受光素子を含んでいてもよい。或いは、加工光E L # 2の強度が高くなるほど、加工光E L # 2が生成するエネルギー量が多くなる。その結果、加工光E L # 2が発生する熱量が多くなる。このため、パワーメータ2 1 5 3は、加工光E L # 2を熱として検出することで、加工光E L # 2の強度を検出してもよい。この場合、パワーメータ2 1 5 3は、加工光E L # 2の熱を検出する熱検出素子を含んでいてもよい。

[0137] 上述したように、パワーメータ2 1 5 3には、平行平板2 1 5 2によって反射された加工光E L # 2が入射する。このため、パワーメータ2 1 5 3は、平行平板2 1 5 2によって反射された加工光E L # 2の強度を検出する。平行平板2 1 5 2が光源4 # 2とガルバノミラー2 1 5 6との間における加工光E L # 2の光路上に配置されているがゆえに、パワーメータ2 1 5 3は、光源4 # 2とガルバノミラー2 1 5 6との間における光路を進行する加工光E L # 2の強度を検出しているとみなしてもよい。この場合、パワーメータ2 1 5 3は、ガルバノミラー2 1 5 6による加工光E L # 2の偏向の影響を受けることなく、加工光E L # 2の強度を安定的に検出することができる。但し、パワーメータ2 1 5 3の配置位置が、図5に示す例に限定されることはない。例えば、パワーメータ2 1 5 3は、ガルバノミラー2 1 5 6と造

形面MSとの間における光路を進行する加工光EL#2の強度を検出してもよい。パワーメータ2153は、ガルバノミラー2156内における光路を進行する加工光EL#2の強度を検出してもよい。

[0138] パワーメータ2153の検出結果は、制御ユニット7に出力される。制御ユニット7は、パワーメータ2153の検出結果（つまり、加工光EL#2の強度の検出結果）に基づいて、加工光EL#2の強度を制御（言い換えれば、変更）してもよい。例えば、制御ユニット7は、造形面MSにおける加工光EL#2の強度が所望強度となるように、加工光EL#2の強度を制御してもよい。例えば、制御ユニット7は、造形面MSと材料ノズル212との間の仮想的な材料供給面PLにおける加工光EL#2の強度が所望強度となるように、加工光EL#2の強度を制御してもよい。加工光EL#2の強度を制御するために、例えば、制御ユニット7は、パワーメータ2153の検出結果に基づいて、光源4#2から射出される加工光EL#2の強度を変更するように、光源4#2を制御してもよい。その結果、加工システムSYSは、適切な強度を有する加工光EL#2を造形面MSに照射することで、造形面MSに造形物を適切に造形することができる。

[0139] 上述したように、加工光EL#2は、造形材料Mを溶融させることが可能な強度を有している。このため、パワーメータ2153に入射する加工光EL#2が、造形材料Mを溶融させることが可能な強度を有する可能性がある。しかしながら、造形材料Mを溶融させることが可能な強度を有する加工光EL#2がパワーメータ2153に入射すると、パワーメータ2153が加工光EL#2によって損傷する可能性がある。このため、パワーメータ2153には、パワーメータ2153を損傷させるほどには高くない強度を有する加工光EL#2が入射してもよい。言い換えれば、第2光学系215は、パワーメータ2153を損傷させるほどには高くない強度を有する加工光EL#2がパワーメータ2153に入射するように、パワーメータ2153に入射する加工光EL#2の強度を弱めてもよい。

[0140] 例えば、パワーメータ2153に入射する加工光EL#2の強度を弱める

ために、加工光E L # 2に対する平行平板2 1 5 2の反射率が適切な値に設定されていてもよい。具体的には、加工光E L # 2に対する平行平板2 1 5 2の反射率が低くなればなるほど、パワーメータ2 1 5 3に入射する加工光E L # 2の強度が低くなる。このため、平行平板2 1 5 2の反射率は、パワーメータ2 1 5 3を損傷させるほどには高くない強度を有する加工光E L # 2がパワーメータ2 1 5 3に入射する状態を実現することが可能な程度に低い値に設定されていてもよい。例えば、平行平板2 1 5 2の反射率は、10%未満であってもよい。例えば、平行平板2 1 5 2の反射率は、数%未満であってもよい。このような反射率が低い平行平板2 1 5 2として、素ガラスが用いられてもよい。

[0141] 例えば、パワーメータ2 1 5 3に入射する加工光E L # 2の強度を弱めるために、第2光学系2 1 5は、複数の平行平板2 1 5 2を介して、加工光E L # 2をパワーメータ2 1 5 3に入射させてもよい。具体的には、複数の平行平板2 1 5 2によってそれぞれ複数回反射された加工光E L # 2が、パワーメータ2 1 5 3に入射してもよい。この場合、複数の平行平板2 1 5 2によってそれぞれ複数回反射された加工光E L # 2の強度は、一枚の平行平板2 1 5 2によって一回反射された加工光E L # 2の強度よりも弱くなる。このため、パワーメータ2 1 5 3を損傷させるほどには高くない強度を有する加工光E L # 2がパワーメータ2 1 5 3に入射する可能性が高くなる。

[0142] 平行平板2 1 5 2の表面（特に、加工光E L # 2が入射する入射面及び加工光E L # 2が反射される反射面の少なくとも一つ）には、所望のコーティング処理が施されていてもよい。例えば、平行平板2 1 5 2の表面には、反射防止コーティング処理（AR: Anti Reflection Coating）が施されていてもよい。

第3光学系2 1 6は、プリズムミラー2 1 6 1と、f θ レンズ2 1 6 2とを備える。

[0143] 第1光学系2 1 4から射出された加工光E L # 1及び第2光学系2 1 5から射出された加工光E L # 2のそれぞれは、プリズムミラー2 1 6 1に入射

する。プリズムミラー2161は、加工光EL#1及びEL#2のそれぞれを、 $f\theta$ レンズ2162に向けて反射する。プリズムミラー2161は、それぞれ異なる方向からプリズムミラー2161に入射してくる加工光EL#1及びEL#2を、ほぼ同じ方向に向けて（具体的には、 $f\theta$ レンズ2162に向けて）反射する。

[0144] 尚、第1光学系214から射出された加工光EL#1及び第2光学系215から射出された加工光EL#2のそれぞれが直接的に $f\theta$ レンズ2162に入射可能である場合には、第3光学系216は、プリズムミラー2161を備えていなくてもよい。

[0145] $f\theta$ レンズ2162は、プリズムミラー2161が反射した加工光EL#1及びEL#2のそれぞれを造形面MSに向けて射出するための光学系である。つまり、 $f\theta$ レンズ2162は、プリズムミラー2161が反射した加工光EL#1及びEL#2のそれぞれを造形面MSに照射するための光学系である。その結果、 $f\theta$ レンズ2162を通過した加工光EL#1及びEL#2が、造形面MSに照射される。

[0146] $f\theta$ レンズ2162は、加工光EL#1及びEL#2のそれぞれを、集光面に集光可能な光学素子であってもよい。この場合、 $f\theta$ レンズ2162は、集光光学系と称されてもよい。 $f\theta$ レンズ2162の集光面は、例えば、造形面MSに設定されてもよい。この場合、第3光学系216は、射影特性が $f\theta$ となる集光光学系を備えているとみなしてもよい。但し、第3光学系216は、射影特性が $f\theta$ とは異なる特性となる集光光学系を備えていてもよい。例えば、第3光学系216は、射影特性が $f \cdot \tan \theta$ となる集光光学系を備えていてもよい。例えば、第3光学系216は、射影特性が $f \cdot \sin \theta$ となる集光光学系を備えていてもよい。

[0147] $f\theta$ レンズ2162の光軸AXは、Z軸に沿った軸である。このため、 $f\theta$ レンズ2162は、加工光EL#1及びEL#2のそれぞれを、ほぼZ軸方向に沿って射出する。この場合、加工光EL#1の照射方向と、加工光EL#2の照射方向とは、同一の方向であってもよい。加工光EL#1の照射

方向と、加工光E L # 2の照射方向とは、共にZ軸方向であってもよい。加工光E L # 1の照射方向と、加工光E L # 2の照射方向とは、共に $f \theta$ レンズ2162の光軸AXに沿った方向であってもよい。但し、加工光E L # 1の照射方向と、加工光E L # 2の照射方向とは、同一の方向でなくてもよい。加工光E L # 1の照射方向と、加工光E L # 2の照射方向とは、互いに異なる方向であってもよい。

(2) 加工システムS Y Sが行う造形動作

続いて、加工システムS Y Sが行う造形動作（ワークWに対して付加加工を行う付加加工動作）について説明する。

(2-1) 造形動作の概要

[0148] 上述したように、加工システムS Y Sは、レーザ肉盛溶接法に基づく付加加工を行うことで、三次元構造物S Tを造形する。このため、加工システムS Y Sは、レーザ肉盛溶接法に準拠した造形動作を行うことで、三次元構造物S Tを造形してもよい。

[0149] 加工システムS Y Sは、造形すべき三次元構造物S Tの三次元モデルデータ（言い換えれば、三次元モデル情報）等に基づいて、ワークW上に三次元構造物S Tを造形する。三次元モデルデータとして、加工システムS Y S内に設けられた計測装置及び加工システムS Y Sとは別に設けられた三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S Y Sは、三次元構造物S Tを造形するために、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）S Lを順に造形していく。例えば、加工システムS Y Sは、三次元構造物S Tの三次元モデルを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S Lを1層ずつ順に造形していく。その結果、複数の構造層S Lが積層された積層構造体である三次元構造物S Tが造形される。尚、構造層S Lは、必ずしも層状の形状を有する造形物でなくてもよい。

[0150] 本実施形態では特に、加工システムS Y S（主として、加工ユニット2）

は、造形動作として、第1造形動作及び第2造形動作の少なくとも一つを行ってもよい。第1造形動作及び第2造形動作は、第1造形動作によって三次元構造物STを造形するための方法が、第2造形動作によって三次元構造物STを造形するための方法とは異なるという点で互いに異なってもよい。特に、第1造形動作及び第2造形動作は、第1造形動作によって各構造層SLを造形するための方法が、第2造形動作によって各構造層SLを造形するための方法とは異なるという点で互いに異なってもよい。

[0151] 加工システムSYSは、第1造形動作を行うことなく、第2造形動作を行うことで、三次元構造物STを造形してもよい。加工システムSYSは、第1造形動作を行うことなく、第2造形動作を行うことで、各構造層SLを造形してもよい。加工システムSYSは、第2造形動作を行うことなく、第1造形動作を行うことで、三次元構造物STを造形してもよい。加工システムSYSは、第2造形動作を行うことなく、第1造形動作を行うことで、各構造層SLを造形してもよい。加工システムSYSは、第1及び第2造形動作の双方を行うことで、三次元構造物STを造形してもよい。加工システムSYSは、第1及び第2造形動作の双方を行うことで、各構造層SLを造形してもよい。

以下、第1造形動作と第2造形動作とについて順に説明する。

(2-1) 第1造形動作

[0152] 第1造形動作は、造形面MSに加工光ELを照射することで、造形面MSに溶融池MPを形成すると共に、形成した溶融池MPに造形材料Mを供給することで、造形面MS上に造形物を造形する造形動作である。つまり、第1造形動作は、造形面MS上に造形物を造形するために、造形面MSに加工光ELを照射することで、造形面MSに溶融池MPを形成すると共に、形成した溶融池MPに造形材料Mを供給する造形動作である。

[0153] まず、第1造形動作を行うことで各構造層SLを造形する動作について、図8(a)から図8(e)を参照して説明する。加工システムSYSは、制御ユニット7の制御下で、ワークWの表面又は造形済みの構造層SLの表面

に相当する造形面MS上の所望領域に加工単位領域PUA#1及びPUA#2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、照射光学系211は、加工単位領域PUA#1及びPUA#2に加工光EL#1及びEL#2をそれぞれ照射する。この際、Z軸方向において加工光EL#1のフォーカス位置CP#1及び加工光EL#2のフォーカス位置CP#2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、加工光EL#1のフォーカス位置CP#1及び加工光EL#2のフォーカス位置CP#2は、造形面MSから離れていてもよい。その結果、図8(a)に示すように、加工光EL#1及びEL#2が照射された造形面MS上に溶融池MP#1及びMP#2がそれぞれ形成される。更に、図8(b)に示すように、加工システムSYSは、制御ユニット7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#1及びMP#2のそれぞれに造形材料Mが供給される。

[0154] 溶融池MP#1に供給された造形材料Mは、溶融池MP#1に照射されている加工光EL#1によって溶融する。或いは、溶融池MP#1に供給された造形材料Mは、加工光EL#1によって形成された溶融池MP#1によって溶融する。尚、造形材料Mが溶融池MP#1によって溶融する場合においても、溶融池MP#1が加工光EL#1によって形成されているがゆえに、造形材料Mは、溶融池MP#1を形成した加工光EL#1によって溶融されているとみなしてもよい。つまり、造形材料Mは、加工光EL#1が形成した溶融池MP#1を介して、加工光EL#1によって間接的に溶融されているとみなしてもよい。

[0155] 同様に、溶融池MP#2に供給された造形材料Mは、溶融池MP#2に照射されている加工光EL#2によって溶融する。或いは、溶融池MP#2に供給された造形材料Mは、加工光EL#2によって形成された溶融池MP#2によって溶融する。尚、造形材料Mが溶融池MP#2によって溶融する場合においても、溶融池MP#2が加工光EL#2によって形成されているがゆえに、造形材料Mは、溶融池MP#2を形成した加工光EL#2によって

溶融されているとみなしてもよい。つまり、造形材料Mは、加工光EL#2が形成した溶融池MP#2を介して、加工光EL#2によって間接的に溶融されているとみなしてもよい。

[0156] 更に、照射光学系211は、ガルバノミラー2146及び2156を用いて、それぞれ、加工単位領域PUA#1及びPUA#2内で目標照射領域EA#1及びEA#2を移動させる。つまり、照射光学系211は、それぞれ、ガルバノミラー2146及び2156を用いて、それぞれ、加工単位領域PUA#1及びPUA#2を加工光EL#1及びEL#2で走査する。目標照射領域EA#1の移動に伴って溶融池MP#1に加工光EL#1が照射されなくなると、溶融池MP#1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。同様に、目標照射領域EA#2の移動に伴って溶融池MP#2に加工光EL#2が照射されなくなると、溶融池MP#2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。更に、目標照射領域EA#1及びEA#2の移動に伴って、溶融池MP#1及びMP#2もまた移動する。その結果、図8(c)に示すように、溶融池MP#1及びMP#2が移動する加工単位領域PUA#1及びPUA#2内において、固化した造形材料Mから構成される造形物が造形面MS上に堆積される。

[0157] 尚、図8(c)では、説明の便宜上、加工単位領域PUA#1内において固化した造形材料Mから構成される造形物と、加工単位領域PUA#2内において固化した造形材料Mから構成される造形物とが物理的に分離している。しかしながら、加工単位領域PUA#1内において固化した造形材料Mから構成される造形物と、加工単位領域PUA#2内において固化した造形材料Mから構成される造形物とが一体化していてもよい。特に、加工単位領域PUA#1及びPUA#2が一致している（或いは、部分的に重複している）場合には、加工単位領域PUA#1内において固化した造形材料Mから構成される造形物と、加工単位領域PUA#2内において固化した造形材料Mから構成される造形物とが一体化していてもよい。

[0158] 加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 内で目標照射領域 E A # 1 及び E A # 2 がそれぞれ移動している期間中において、加工システム S Y S は、造形面 M S 上を加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 が移動するように、加工ヘッド 2 1 及びステージ 3 1 の少なくとも一方を移動させてもよい。つまり、加工システム S Y S は、加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 内での目標照射領域 E A # 1 及び E A # 2 のそれぞれの移動と、造形面 M S 上での加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 の移動とを並行して行ってもよい。

[0159] 或いは、加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 内で目標照射領域 E A # 1 及び E A # 2 がそれぞれ移動している期間中において、加工システム S Y S は、造形面 M S 上を加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 が移動しないように、加工ヘッド 2 1 及びステージ 3 1 を移動させなくてもよい。つまり、加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 内で目標照射領域 E A # 1 及び E A # 2 がそれぞれ移動している期間中において、加工ヘッド 2 1 及びステージ 3 1 が停止していてもよい。この場合、加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 内での付加加工（つまり、造形）が完了した後は、加工システム S Y S は、造形面 M S 上の別の領域に加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 が設定されるように、加工ヘッド 2 1 及びステージ 3 1 の少なくとも一方を移動させてもよい。つまり、加工システム S Y S は、加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 内での付加加工（つまり、造形）が完了した後に、造形面 M S 上において加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 が移動するように、加工ヘッド 2 1 及びステージ 3 1 の少なくとも一方を移動させてもよい。この場合、加工システム S Y S は、造形面 M S 上で既に加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 が設定された領域（つまり、付加加工が既に行われた領域）と、造形面 M S 上で加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 が新たに設定された領域（つまり、付加加工が今から行われる領域）とが隣接するように、加工ヘッド 2 1 及びステージ 3 1 の少なくとも一方を移動させてもよい。特に、加工システム S Y S は、造形面 M S 上で既に加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 が設定された領域と、造形面 M S 上で加工単位領域 P U A #

1 及び P U A # 2 が新たに設定された領域とが重複しないように、加工ヘッド 2 1 及びステージ 3 1 の少なくとも一方を移動させてもよい。但し、加工システム S Y S は、造形面 M S 上で既に加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 が設定された領域と、造形面 M S 上で加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 が新たに設定された領域とが部分的に重複するように、加工ヘッド 2 1 及びステージ 3 1 の少なくとも一方を移動させてもよい。

[0160] 加工システム S Y S は、加工単位領域 P U A # 1 内での加工光 E L # 1 の照射による溶融池 M P # 1 の形成、加工単位領域 P U A # 2 内での加工光 E L # 2 の照射による溶融池 M P # 2 の形成、溶融池 M P # 1 及び M P # 2 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 8 (d) に示すように、造形面 M S 上で加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 を目標移動軌跡 M T O に沿って移動させながら繰り返す。この場合、加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 のそれぞれの移動に伴い、目標移動軌跡 M T O に交差する方向に沿って幅を有する造形物が造形面 M S 上に造形される。例えば、図 6 (a) 及び図 6 (b) に示すように加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 のそれぞれが移動する場合には、X 軸方向に沿って幅を有すると共に Y 軸方向に沿って延びる造形物が造形される。例えば、図 7 (a) 及び図 7 (c) に示すように加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 のそれぞれが移動する場合には、X 軸方向に沿って幅を有すると共に Y 軸方向に沿って延びる造形物が造形される。

[0161] その結果、図 8 (e) に示すように、造形面 M S 上に、溶融した後に固化した造形材料 M の集合体である造形物に相当する構造層 S L が造形される。つまり、加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 の目標移動軌跡 M T O に応じたパターンで造形面 M S 上に造形された造形物の集合体に相当する構造層 S L が造形される。つまり、平面視において、加工単位領域 P U A # 1 及び P U A # 2 の目標移動軌跡 M T O に応じた形状を有する構造層 S L が造形される。

[0162] 尚、造形物を造形したくない領域に目標照射領域 E A # 1 が設定されてい

る場合、加工システムS Y Sは、目標照射領域E A # 1に、加工光E L # 1を照射しなくてもよい。或いは、加工システムS Y Sは、加工光E L # 1を目標照射領域E A # 1に照射すると共に、造形材料Mの供給を停止してもよい。或いは、加工システムS Y Sは、造形材料Mを目標照射領域E A # 1に供給すると共に、溶融池M Pができない強度の加工光E L # 1を目標照射領域E A # 1に照射してもよい。造形物を造形したくない領域に目標照射領域E A # 2が設定されている場合も同様である。

[0163] 加工単位領域P U A # 1及びP U A # 2のそれぞれの目標移動軌跡M T Oは、加工パス（言い換えれば、ツールパス）と称されてもよい。この場合、制御ユニット7は、目標移動軌跡M T Oを示すパス情報（つまり、加工パスを示すパス情報）に基づいて、造形面M S上において加工単位領域P U A # 1及びP U A # 2のそれぞれが目標移動軌跡M T Oに沿って移動するように、加工ヘッド2 1及びステージ3 1の少なくとも一方を移動させてもよい。

[0164] 加工システムS Y Sは、このような構造層S Lを造形するための動作を、制御ユニット7の制御下で、三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、制御ユニット7は、構造層S Lを造形するための動作を行う前に、三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。加工システムS Y Sは、ワークWの表面に相当する造形面M S上に1層目の構造層S L # 1を造形するための動作を、構造層S L # 1に対応するスライスデータに基づいて行う。具体的には、制御ユニット7は、構造層S L # 1に対応するスライスデータに基づいて生成された、1層目の構造層S L # 1を造形するためのパス情報を取得する。その後、制御ユニット7は、パス情報に基づいて、1層目の構造層S L # 1を造形するように加工ユニット2及びステージユニット3を制御する。その結果、造形面M S上には、図9（a）に示すように、構造層S L # 1が造形される。その後、加工システムS Y Sは、構造層S L # 1の表面（つまり、上面）を新たな造形面M Sに設定した上で、当該新たな造形面M S上に2層目の構造層S L # 2を造形する。構造層S L # 2を造形するために、制御ユニット7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、制御ユニット7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、加工単位領域PUA#1及びPUA#2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SYSは、制御ユニット7の制御下で、構造層SL#1を造形する動作と同様の動作で、構造層SL#2に対応するスライスデータに基づいて、構造層SL#1上に構造層SL#2を造形する。その結果、図9（b）に示すように、構造層SL#2が造形される。以降、同様の動作が、ワークW上に造形すべき三次元構造物STを構成する全ての構造層SLが造形されるまで繰り返される。その結果、図9（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、三次元構造物STが造形される。

（2-2）第2造形動作

[0165] 上述した第1造形動作では、加工システムSYSは、造形面MSに加工光ELを照射することで、造形面MSに溶融池MPを形成している。一方で、第2造形動作では、加工システムSYSは、造形面MSに溶融池MPを形成するために、造形面MSに加工光ELを必ずしも照射しなくてよい。第2造形動作では、加工システムSYSは、造形面MSに加工光ELを照射することで溶融池MPを形成する動作を必ずしも行わなくてもよい。更に、上述した第1造形動作では、加工システムSYSは、造形面MSに形成した溶融池MPに対して造形材料Mを供給することで、溶融池MPにおいて造形材料Mを溶融させている。つまり、上述した第1造形動作では、加工システムSYSは、造形面MSにおいて造形材料Mを溶融させている。一方で、第2造形動作では、加工システムSYSは、造形面MSにおいて造形材料Mを溶融させなくてもよい。

[0166] 具体的には、第2造形動作では、加工システムSYSは、造形材料Mが造

形面MSに到達する前に、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間において造形材料Mを溶融させる。つまり、第2造形動作では、加工システムSYSは、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間において造形材料Mに加工光ELを照射することで、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間において造形材料Mを溶融させる。材料ノズル212と造形面MSとの間の空間において溶融した造形材料Mは、造形面MSに供給される。このため、加工システムSYSは、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間において溶融した造形材料Mを、造形面MSに供給する。従って、以上説明した第2造形動作の説明をまとめると、第2造形動作は、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間において造形材料Mに加工光ELを照射することで造形材料Mを溶融し、溶融した造形材料Mを造形面MSに供給することで造形面MS上に造形物を造形する動作であってもよい。

[0167] 第2造形動作を行うことで各構造層SLを造形するために、加工システムSYSは、制御ユニット7の制御下で、ワークWの表面又は造形済みの構造層SLの表面に相当する造形面MS上の所望領域に、溶融した造形材料Mが供給されるように、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、図10(a)に示すように、加工システムSYSは、制御ユニット7の制御下で、照射光学系211から加工光EL#1及びEL#2を射出する。更に、図10(a)に示すように、加工システムSYSは、制御ユニット7の制御下で、材料ノズル212から造形材料Mを供給する。

[0168] その結果、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間において、造形材料Mに加工光EL#1及びEL#2の少なくとも一方が照射される。尚、以下の説明では、説明の便宜上、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間において、造形材料Mに加工光EL#1及びEL#2の少なくとも一方が照射される位置に位置する仮想的な材料供給面PLを、材料照射面ESと称する。この場合、図10(a)に示すように、加工システムSYSは、材料照射面ESに加工光EL#1及びEL#2を照射し、且つ、材料照射面ESに造形材料Mを供給しているとみなしてもよい。但し、材料照射面ESが物理

的な面ではないがゆえに、材料照射面E Sに照射された加工光E L # 1 及びE L # 2 は、材料照射面E Sを通過し、材料照射面E Sに供給された造形材料Mは、材料照射面E Sを通過する。このため、加工システムS Y Sは、材料照射面E Sを加工光E L # 1 及びE L # 2 が通過するように、加工光E L # 1 及びE L # 2 を射出し、且つ、材料照射面E Sを造形材料Mが通過するように、造形材料Mを供給しているとみなしてもよい。

[0169] 材料照射面E Sにおいて造形材料Mに加工光E L # 1 及びE L # 2 の少なくとも一方が照射されると、図10 (a) に示すように、材料照射面E Sにおいて造形材料Mが溶融する。材料照射面E Sにおいて溶融した造形材料Mは、材料照射面E Sから造形面M Sに供給される。その結果、造形面M S上に、材料照射面E Sにおいて溶融した造形材料Mが付着する。この場合、造形面M S上に、材料照射面E Sにおいて溶融した造形材料Mによって溶融池M Pが形成されているとみなしてもよい。但し、第2造形動作では、造形面M Sを表面に有する物体（例えば、ワークW又は構造層S L）が加工光E Lによって直接的に溶融されることは殆どないがゆえに、造形面M Sを表面に有する物体（例えば、ワークW又は構造層S L）の内部に溶融池M Pが進入することは殆どない。或いは、造形面M Sを表面に有する物体（例えば、ワークW又は構造層S L）の内部への溶融池M Pの進入量は、相対的に少ない。一方で、第1造形動作では、造形面M Sを表面に有する物体（例えば、ワークW又は構造層S L）が加工光E Lによって溶融されるがゆえに、造形面M Sを表面に有する物体（例えば、ワークW又は構造層S L）の内部に溶融池M Pが進入する可能性が高い。更には、造形面M Sを表面に有する物体（例えば、ワークW又は構造層S L）の内部への溶融池M Pの進入量は、相対的に多い。このため、第2造形動作において溶融池M Pが形成されるとみなす場合、形成される溶融池M Pの深さは、典型的には、第1造形動作において形成される溶融池M Pの深さよりも浅くなる。

[0170] その後、造形面M Sに供給された造形材料Mは、冷却されて固化（つまり、凝固）する。その結果、図10 (b) に示すように、固化した造形材料M

から構成される造形物が造形面MS上に堆積される。

[0171] 加工システムSYSは、加工光EL # 1 及びEL # 2 の照射による材料照射面ESでの造形材料Mの溶融、溶融した造形材料Mの造形面MSへの供給及び溶融した造形材料Mの造形面MSでの固化を含む一連の造形処理を、図10(c)に示すように、造形面MSに対して加工ヘッド21を移動させながら繰り返す。特に、加工システムSYSは、一連の造形処理を、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。この場合、加工ヘッド21の移動に伴い、加工ヘッド21の移動方向に交差する方向に沿って幅を有する造形物が造形面MS上に造形される。その結果、図10(d)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の集合体である造形物に相当する構造層SLが造形される。加工ヘッド21の移動軌跡に応じたパターンで造形面MS上に造形された造形物の集合体に相当する構造層SLが造形される。つまり、平面視において、加工ヘッド21の移動軌跡に応じた形状を有する構造層SLが造形される。

[0172] その後は、第2造形動作を行う場合においても、第1造形動作を行う場合と同様に、加工システムSYSは、このような構造層SLを造形するための動作を、制御ユニット7の制御下で、三次元モデルデータに基づいて繰り返し行う。その結果、複数の構造層SLが積層された積層構造物によって、三次元構造物STが造形される。

[0173] このような第2造形動作が行われる場合には、造形面MSを表面に有する物体（例えば、ワークW又は構造層SL）が加工光ELによって直接的に溶融されることが殆どないことは、上述したとおりである。このため、造形面MS上には、材料照射面ESにおいて溶融した造形材料Mによって、相対的に浅い溶融池MPが形成される。このため、相対的に深い溶融池MPが形成される場合と比較して、溶融した造形材料Mが冷却されて固化するまでに必要な時間が短くなる。このため、第2造形動作が行われる場合には、第1造形動作が行われる場合と比較して、三次元構造物STを造形するために必要

な時間が短くなる。つまり、第2造形動作による造形速度は、第1造形動作による造形速度よりも速くなる。つまり、第2造形動作が行われる場合には、第1造形動作が行われる場合と比較して、加工システムSYSは、三次元構造物STを高速に造形することができる。

[0174] このように第2造形動作によって三次元構造物STを高速に造形することができるがゆえに、第2造形動作は、超高速レーザ法（EHLA: Extreme High Speed Application）に準拠した造形動作と称してもよい。第2造形動作は、超高速レーザ法（EHLA: Extreme High Speed Application）に準拠した造形動作であるとみなしてもよい。

[0175] 第2造形動作が行われる場合においても、第1造形動作が行われる場合と同様に、加工システムSYSは、ガルバノミラー2146及び2156を用いて、加工光EL#1及びEL#2をそれぞれ偏向してもよい。この場合、材料照射面ESを通過する加工光EL#1を示す図11に示すように、加工システムSYSは、ガルバノミラー2146を用いて加工光EL#1を偏向することで、材料ノズル212と造形面MSとの間においてZ軸に交差する仮想的な材料照射面ES内において加工光EL#1が通過するビーム通過領域PA#1を移動させてもよい。同様に、材料照射面ESを通過する加工光EL#2を示す図11に示すように、加工システムSYSは、ガルバノミラー2156を用いて加工光EL#2を偏向することで、材料ノズル212と造形面MSとの間においてZ軸に交差する仮想的な材料照射面ES内において加工光EL#2が通過するビーム通過領域PA#2を移動させてもよい。

[0176] 本実施形態では、説明の便宜上、ガルバノミラー2146又は2156が材料照射面ES上でビーム通過領域PA#k（尚、kは、1又は2を示す変数）を移動させる仮想的な領域を、照射単位領域MUA（特に、照射単位領域MUA#k）と称する。この場合、ビーム通過領域PA#kは、材料照射面ESのうち照射単位領域MUA#kと重複する面上を移動するとみなしてもよい。具体的には、照射光学系211と材料照射面ESとの位置関係を固

定した状態で（つまり、変更することなく）ガルバノミラー2146又は2156が材料照射面ES上でビーム通過領域PA#kを移動させる仮想的な領域を、照射単位領域MUA（特に、照射単位領域MUA#k）と称する。照射単位領域MUA#kは、照射光学系211と材料照射面ESとの位置関係を固定した状態で加工ヘッド21から射出される加工光EL#kが実際に通過する仮想的な領域（言い換えれば、範囲）を示す。照射単位領域MUA#kは、照射光学系211と材料照射面ESとの位置関係を固定した状態でビーム通過領域PA#kが実際に移動する領域（言い換えれば、範囲）を示す。このため、照射単位領域MUA#kは、加工ヘッド21（特に、照射光学系211）を基準に定まる仮想的な領域であるとみなしてもよい。つまり、照射単位領域MUA#kは、材料照射面ES上において、加工ヘッド21（特に、照射光学系211）を基準に定まる位置に位置する仮想的な領域であるとみなしてもよい。尚、照射光学系211と材料照射面ESとの位置関係を固定した状態でガルバノミラー2146又は2156が材料照射面ES上でビーム通過領域PA#kを移動することが可能な最大領域を、照射単位領域MUA#kと称してもよい。

[0177] この場合、加工システムSYSは、ガルバノミラー2146又は2156を用いて、照射単位領域MUA#k内においてビーム通過領域PA#kを移動させることができる。このため、ガルバノミラー2146又は2156を用いて加工光EL#kを偏向する動作は、照射単位領域MUA#k内においてビーム通過領域PA#kを移動させる動作と等価であるとみなしてもよい。

[0178] 尚、加工ヘッド21及びステージ31の少なくとも一方が移動しても、ビーム通過領域PA#kが材料照射面ES上において移動する。しかしながら、加工ヘッド21及びステージ31の少なくとも一方が移動する場合には、ガルバノミラー2146及び2156と材料照射面ESとの相対的な位置関係が変わる。その結果、加工ヘッド21を基準に定まる照射単位領域MUA#k（つまり、ガルバノミラー2146又は2156が材料照射面ES上で

ビーム通過領域P A # k を移動させる照射単位領域M U A # k) が材料照射面E S上で移動する。このため、本実施形態では、加工ヘッド2 1及びステージ3 1の少なくとも一方を移動させる動作は、材料照射面E Sに対して照射単位領域M U A # k を移動させる動作と等価であるとみなしてもよい。

[0179] 照射単位領域M U A # k の特徴（例えば、形状及び移動態様等）は、上述した加工単位領域P U A # k の特徴と同一であってもよい。照射単位領域M U A # k 内でのビーム通過領域P A # k の移動態様（例えば、移動軌跡）は、上述した加工単位領域P U A # k 内での目標照射領域E A # k の移動態様と同じであってもよい。このため、照射単位領域M U A # k の特徴及び照射単位領域M U A # k 内でのビーム通過領域P A # k の移動態様（例えば、移動軌跡等）の詳細な説明は省略するが、以下のその一例について、図1 2（a）から図1 2（e）を参照しながら簡単に説明する。図1 2（a）に示すように、ガルバノミラー2 1 4 6又は2 1 5 6は、照射単位領域M U A # k が材料照射面E S上で静止している（つまり、移動していない）と仮定した状況下において、照射単位領域M U A # k 内において、ビーム通過領域P A # k が、材料照射面E Sに沿った単一の走査方向に沿って移動するように、加工光E L # k を偏向してもよい。図1 2（a）に示す照射単位領域M U A # k が材料照射面E S上で目標移動軌跡M T Oに沿って移動することで、材料照射面E S上において、ビーム通過領域P A # k は、図1 2（b）に示す移動軌跡M T # k（例えば、目標移動軌跡M T Oを中心に振動する波形状の移動軌跡M T # k）に沿って移動してもよい。図1 2（c）及び図1 2（d）に示すように、ガルバノミラー2 1 4 6又は2 1 5 6は、照射単位領域M U A # k が材料照射面E S上で静止している（つまり、移動していない）と仮定した状況下において、照射単位領域M U A # k 内においてビーム通過領域P A # k が複数の走査方向に沿って移動するように、加工光E L # k を偏向してもよい。図1 2（c）に示す照射単位領域M U A # k が材料照射面E S上で目標移動軌跡M T Oに沿って移動することで、材料照射面E S上において、ビーム通過領域P A # k は、図1 2（e）に示す移動軌跡M T # kに

沿って移動してもよい。

[0180] 材料ノズル212は、照射単位領域MUAに造形材料Mを供給してもよい。この場合、材料ノズル212は、照射単位領域MUA内で造形材料Mが供給される材料供給領域MSAと照射単位領域MUAとの関係を示す平面図である図13(a)に示すように、材料供給領域MSAの全体が照射単位領域MUAに含まれるように、照射単位領域MUAに造形材料Mを供給してもよい。つまり、材料ノズル212は、照射単位領域MUAの一部が材料供給領域MSAに含まれる一方で、照射単位領域MUAの他の一部が材料供給領域MSAに含まれないように、照射単位領域MUAに造形材料Mを供給してもよい。或いは、材料ノズル212は、材料供給領域MSAと照射単位領域MUAとの関係を示す平面図である図13(b)に示すように、材料供給領域MSAの一部が照射単位領域MUAに含まれる一方で、材料供給領域MSAの他の一部が照射単位領域MUAに含まれないように、照射単位領域MUAに造形材料Mを供給してもよい。つまり、材料ノズル212は、照射単位領域MUAの一部が材料供給領域MSAに含まれる一方で、照射単位領域MUAの他の一部が材料供給領域MSAに含まれないように、照射単位領域MUAに造形材料Mを供給してもよい。或いは、材料ノズル212は、材料供給領域MSAと照射単位領域MUAとの関係を示す平面図である図13(c)に示すように、照射単位領域MUAの全体が材料供給領域MSAに含まれるように、照射単位領域MUAに造形材料Mを供給してもよい。つまり、材料ノズル212は、材料供給領域MSAの一部が照射単位領域MUAに含まれる一方で、材料供給領域MSAの他の一部が照射単位領域MUAに含まれないように、照射単位領域MUAに造形材料Mを供給してもよい。

(2-3) 加工モードの切り替え (加工モードの設定)

[0181] 制御ユニット7は、加工システムSYS（主として、加工ユニット2）の加工モードを、加工ユニット2が第1造形動作を行う第1モードと、加工ユニット2が第2造形動作を行う第2モードとの間で切り替えてもよい。つまり、制御ユニット7は、加工システムSYS（主として、加工ユニット2）

の加工モードを、第1モード及び第2モードのいずれかに設定してもよい。

[0182] 加工システムS Y Sの加工モードが第1モードに設定されている場合には、加工ユニット2は、第1造形動作を行ってもよい。加工ユニット2は、第1造形動作を行うことで、三次元構造物S Tの少なくとも一部を造形してもよい。加工システムS Y Sの加工モードが第2モードに設定されている場合には、加工ユニット2は、第2造形動作を行ってもよい。加工ユニット2は、第2造形動作を行うことで、三次元構造物S Tの少なくとも一部を造形してもよい。

[0183] 加工システムS Y Sの加工モードを設定するために、制御ユニット7は、材料制御点M C Pの位置及び加工光E Lのフォーカス位置C Pの少なくとも一つを制御してもよい。例えば、制御ユニット7は、材料制御点M C Pの位置が、第1造形動作を行うために適した第1位置に位置するように、材料制御点M C Pの位置を制御することで、加工システムS Y Sの加工モードを、第1モードに設定してもよい。例えば、制御ユニット7は、材料制御点M C Pの位置が、第2造形動作を行うために適した第2位置に位置するように、材料制御点M C Pの位置を制御することで、加工システムS Y Sの加工モードを、第2モードに設定してもよい。例えば、制御ユニット7は、フォーカス位置C Pが、第1造形動作を行うために適した第3位置に位置するように、フォーカス位置C Pを制御することで、加工システムS Y Sの加工モードを、第1モードに設定してもよい。例えば、制御ユニット7は、フォーカス位置C Pが、第2造形動作を行うために適した第4位置に位置するように、フォーカス位置C Pを制御することで、加工システムS Y Sの加工モードを、第2モードに設定してもよい。尚、第3位置及び第4位置は、それぞれ、第1フォーカス位置及び第2フォーカス位置と言い換えてもよい。

[0184] 以下、図14(a)及び図14(b)を参照しながら、材料制御点M C Pの位置及び加工光E Lのフォーカス位置C Pの少なくとも一つを制御することで加工システムS Y Sの加工モードを設定するためのモード設定動作の具体例について説明する。図14(a)は、第1造形動作を行う加工ヘッド2

1 の一例を示す断面図であり、図 1 4 (b) は、第 2 造形動作を行う加工ヘッド 2 1 の一例を示す断面図である。

(2 - 3 - 1) 第 1 モード設定動作

[0185] 図 1 4 (a) に示すように、制御ユニット 7 は、加工光 E L のフォーカス位置 C P が造形面 M S 又はその近傍に位置するように加工光 E L のフォーカス位置 C P を制御することで、加工システム S Y S の加工モードを、第 1 モードに設定する第 1 モード設定動作を行ってもよい。尚、図 1 4 (a) は、加工光 E L のフォーカス位置 C P が造形面 M S 上に位置している例を示しているが、加工光 E L のフォーカス位置 C P は、Z 軸方向に沿って造形面 M S から離れた位置に位置していてもよい。第 1 モード設定動作が行われる場合、加工システム S Y S は、相対的に高い強度の加工光 E L を造形面 M S に照射することで、造形面 M S に溶融池 M P を適切に形成することができる。

(2 - 3 - 2) 第 2 モード設定動作

[0186] 図 1 4 (b) に示すように、制御ユニット 7 は、加工光 E L のフォーカス位置 C P が材料ノズル 2 1 2 と造形面 M S との間の空間に位置するように加工光 E L のフォーカス位置 C P を制御することで、加工システム S Y S の加工モードを、第 2 モードに設定する第 2 モード設定動作を行ってもよい。この場合、第 2 造形動作を行うために用いられる加工光 E L の強度は、材料ノズル 2 1 2 と造形面 M S との間の空間において最大となる可能性が高くなる。このため、加工システム S Y S は、材料ノズル 2 1 2 と造形面 M S との間の空間において、相対的に高い強度の加工光 E L を造形材料 M に照射することで、材料ノズル 2 1 2 と造形面 M S との間の空間において造形材料 M を適切に溶融させることができる。

(2 - 3 - 3) 第 3 モード設定動作

[0187] 制御ユニット 7 は、加工光 E L のフォーカス位置 C P を制御して加工光 E L のフォーカス位置 C P と造形面 M S との間の距離 D 1 を制御することで、加工システム S Y S の加工モードを切り替える第 3 モード設定動作を行ってもよい。特に、制御ユニット 7 は、加工光 E L のフォーカス位置 C P を制御

して加工光ELのフォーカス位置CPと造形面MSとの間のZ軸方向における距離D1を制御することで、加工システムSYSの加工モードを切り替える第3モード設定動作を行ってもよい。

[0188] 具体的には、図14(a)及び図14(b)に示すように、制御ユニット7は、「第1造形動作を行う場合の加工光ELのフォーカス位置CPと造形面MSとの間の距離D1が、第2造形動作を行う場合の加工光ELのフォーカス位置CPと造形面MSとの間の距離D1とは異なるものとなる」という第1距離条件を満たすように加工光ELのフォーカス位置CPを制御することで、加工システムSYSの加工モードを切り替えてもよい。典型的には、制御ユニット7は、「第1造形動作を行う場合の加工光ELのフォーカス位置CPと造形面MSとの間の距離D1が、第2造形動作を行う場合の加工光ELのフォーカス位置CPと造形面MSとの間の距離D1よりも短くなる」という第1距離条件を満たすように加工光ELのフォーカス位置CPを制御することで、加工システムSYSの加工モードを切り替えてもよい。尚、図14(a)に示す例では、加工光ELのフォーカス位置CPが造形面MS上に設定されているため、距離D1がゼロになっている例を示しているが、距離D1は、ゼロでなくてもよい。

[0189] この場合、制御ユニット7は、加工光ELのフォーカス位置CPと造形面MSとの間の距離D1が、第1造形動作を行うために適した第1距離D11となるように、フォーカス位置CPを制御することで、加工システムSYSの加工モードを、第1モードに設定してもよい。一方で、制御ユニット7は、加工光ELのフォーカス位置CPと造形面MSとの間の距離D1が、第2造形動作を行うために適した第2距離D12となるように、フォーカス位置CPを制御することで、加工システムSYSの加工モードを、第2モードに設定してもよい。

[0190] 第2距離D12は、第1距離D11よりも長い。つまり、第1距離D11は、第2距離D12よりも短い。第1距離D11は、ゼロであってもよいし、ゼロよりも長くてもよい。第2距離D12は、ゼロよりも長くてもよいが

、ゼロではないことが好ましい。

[0191] 第1距離D11及び第2距離D12のそれぞれは、加工条件（例えば、加工システムSYSの特性、造形材料Mの特性及びワークW特性の少なくとも一つ）等に基づいて設定されていてもよい。或いは、第1距離D11及び第2距離D12のそれぞれは、加工システムSYSのユーザによって設定されていてもよい。

[0192] このように第1距離条件が満たされる場合には、第1距離条件が満たされない場合と比較して、第1造形動作を行うために用いられる加工光ELの強度は、造形面MS又はその近傍において最大となる可能性が高くなる。このため、加工システムSYSは、相対的に高い強度の加工光ELを造形面MSに照射することで、造形面MSに溶融池MPを適切に形成することができる。一方で、第1距離条件が満たされる場合には、第1距離条件が満たされない場合と比較して、第2造形動作を行うために用いられる加工光ELの強度は、造形面MSから離れた位置（典型的には、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間）において最大となる可能性が高くなる。このため、加工システムSYSは、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間において、相対的に高い強度の加工光ELを造形材料Mに照射することで、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間において造形材料Mを適切に溶融させることができる。

[0193] 尚、図14（b）に示すように、第2造形動作において造形材料Mに加工光ELが照射される材料照射面ESは、Z軸方向において加工光ELのフォーカス位置CPと同じ位置に設定される又はZ軸方向において加工光ELのフォーカス位置CPの近傍に設定される仮想的な材料供給面PLであるとみなしてもよい。つまり、Z軸方向において加工光ELのフォーカス位置CPと同じ位置に設定される又はZ軸方向において加工光ELのフォーカス位置CPの近傍に設定される仮想的な材料供給面PLが、材料照射面ESとして用いられてもよい。

（2-3-4）第4モード設定動作

[0194] 図14(a)に示すように、制御ユニット7は、材料制御点MCPが、造形面MSの下方に位置するように材料制御点MCPを制御することで、加工システムSYSの加工モードを、第1モードに設定する第4モード設定動作を行ってもよい。造形面MSの下方には、造形面MSを表面に有する物体（例えば、ワークW又は構造層SL）が位置する可能性が高い。この場合、第4モード設定動作は、材料制御点MCPが、造形面MSを表面に有する物体（例えば、ワークW又は構造層SL）の内側（つまり、内部）に位置するように材料制御点MCPを制御することで、加工システムSYSの加工モードを第1モードに設定する動作であるとみなしてもよい。材料制御点MCPが造形面MSの下方に位置する状態は、材料制御点MCPが、造形面MSを表面に有する物体（例えば、ワークW又は構造層SL）の内側（つまり、内部）に位置する状態を含んでいてもよい。

[0195] この場合、材料制御点MCPが材料ノズル212と造形面MSとの間の空間に位置する（つまり、造形面MSの上方に位置する）場合と比較して、図14(a)に示すように、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間において、造形材料Mに加工光ELが照射される（その結果、造形材料Mが溶融する）可能性が低くなる。このため、加工システムSYSは、加工光ELを造形面MSに照射することで、造形面MSに溶融池MPを適切に形成し、溶融池MPに造形材料Mを適切に供給することができる。

[0196] 尚、材料制御点MCPが造形面MSの下方に位置する場合には、材料ノズル212から供給される造形材料Mは、複数の異なる材料供給方向から供給される造形材料Mが交差する前に、造形面MSに到達する。このため、材料制御点MCPが造形面MSの下方に位置するように、材料制御点MCPを制御する動作は、材料ノズル212から供給される造形材料Mが、複数の異なる材料供給方向から供給される造形材料Mが交差する前に、造形面MSに到達するように、材料制御点MCPを制御する動作と等価であるとみなしてもよい。

[0197] 但し、材料制御点MCPが材料ノズル212と造形面MSとの間の空間に

位置する場合であっても、加工システムS Y Sが加工光E Lを造形面M Sに照射することができる限りは、加工システムS Y Sは、造形面M Sに熔融池M Pを形成することができる。このため、材料制御点M C Pが材料ノズル2 1 2と造形面M Sとの間の空間に位置する（つまり、造形面M Sの上方に位置する）場合であっても、加工システムS Y Sは、第1造形動作を行ってもよい。同様の理由から、材料制御点M C Pが造形面M S上に位置する場合であっても、加工システムS Y Sは、第1造形動作を行ってもよい。

(2-3-5) 第5モード設定動作

[0198] 図14(b)に示すように、制御ユニット7は、材料制御点M C Pが、材料ノズル2 1 2と造形面M Sとの間の空間に位置するように材料制御点M C Pを制御することで、加工システムS Y Sの加工モードを、第2モードに設定する第5モード設定動作を行ってもよい。つまり、制御ユニット7は、材料制御点M C Pが造形面M Sの上方に位置するように材料制御点M C Pを制御することで、加工システムS Y Sの加工モードを、第2モードに設定する第5モード設定動作を行ってもよい。

[0199] この場合、材料制御点M C Pが造形面M Sの下方に位置する場合と比較して、図14(b)に示すように、材料ノズル2 1 2と造形面M Sとの間の空間において、造形材料Mに加工光E Lが照射される（その結果、造形材料Mが熔融する）可能性が高くなる。このため、加工システムS Y Sは、材料ノズル2 1 2と造形面M Sとの間の空間において造形材料Mを適切に熔融させることができる。

(2-3-6) 第6モード設定動作

[0200] 制御ユニット7は、材料制御点M C Pの位置を制御して材料制御点M C Pと造形面M Sとの間の距離D 2を制御することで、加工システムS Y Sの加工モードを切り替える第6モード設定動作を行ってもよい。特に、制御ユニット7は、材料制御点M C Pの位置を制御して材料制御点M C Pと造形面M Sとの間のZ軸方向における距離D 2を制御することで、加工システムS Y Sの加工モードを切り替える第6モード設定動作を行ってもよい。

- [0201] 具体的には、図14(a)及び図14(b)に示すように、制御ユニット7は、「第1造形動作を行う場合の材料制御点MCPと造形面MSとの間の距離D2が、第2造形動作を行う場合の材料制御点MCPと造形面MSとの間の距離D2とは異なるものとなる」という第2距離条件を満たすように材料制御点MCPの位置を制御することで、加工システムSYSの加工モードを切り替えてもよい。典型的には、造形面MSから+Z側に離れた位置と造形面MSとの間の距離が正の距離であり且つ造形面MSから-Z側に離れた位置と造形面MSとの間の距離が負の距離となるように材料制御点MCPと造形面MSとの間の距離D2を定義した場合において、制御ユニット7は、
- 「第1造形動作を行う場合の材料制御点MCPと造形面MSとの間の距離D2が、負の距離となり、第2造形動作を行う場合の材料制御点MCPと造形面MSとの間の距離D2が、負の距離とは異なる正の距離となる」という第2距離条件を満たすように材料制御点MCPの位置を制御することで、加工システムSYSの加工モードを切り替えてもよい。尚、図14(b)に示す例では、Z軸方向において材料制御点MCPが加工光ELのフォーカス位置CPと同じ位置に位置しているため、材料制御点MCPと造形面MSとの間の距離D2が、加工光ELのフォーカス位置CPと造形面MSとの間の距離D1と同じになっている例を示しているが、距離D2は、距離D1と異なってもよい。
- [0202] このように第2距離条件が満たされる場合には、第2距離条件が満たされない場合と比較して、第1造形動作を行う場合に、材料制御点MCPが、造形面MSの下方に位置する可能性が高くなる。このため、第4モード設定動作の説明で説明したように、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間において、造形材料Mに加工光ELが照射される（その結果、造形材料Mが溶融する）可能性が低くなる。このため、加工システムSYSは、加工光ELを造形面MSに照射することで、造形面MSに溶融池MPを適切に形成し、造形面MSに形成された溶融池MPに造形材料Mを適切に供給することができる。

[0203] 更に、第2距離条件が満たされる場合には、第2距離条件が満たされない場合と比較して、第2造形動作を行う場合に、材料制御点MCPが、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間に位置する（つまり、造形面MSの上方に位置する）可能性が高くなる。このため、第5モード設定動作の説明で説明したように、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間において、造形材料Mに加工光ELが照射される（その結果、造形材料Mが溶融する）可能性が高くなる。このため、加工システムSYSは、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間において造形材料Mを適切に溶融させることができる。

(2-3-7) 第7モード設定動作

[0204] 制御ユニット7は、加工光ELのフォーカス位置CP及び材料制御点MCPの位置の少なくとも一つを制御して加工光ELのフォーカス位置CPと材料制御点MCPとの間の距離D3を制御することで、加工システムSYSの加工モードを切り替える第7モード設定動作を行ってもよい。特に、制御ユニット7は、加工光ELのフォーカス位置CP及び材料制御点MCPの位置の少なくとも一つを制御して加工光ELのフォーカス位置CPと材料制御点MCPとの間のZ軸方向における距離D3を制御することで、加工システムSYSの加工モードを切り替える第7モード設定動作を行ってもよい。

[0205] 具体的には、図14(a)及び図14(b)に示すように、制御ユニット7は、「第1造形動作を行う場合の加工光ELのフォーカス位置CPと材料制御点MCPとの間の距離D3が、第2造形動作を行う場合の加工光ELのフォーカス位置CPと材料制御点MCPとの間の距離D3とは異なるものとなる」という第3距離条件を満たすように加工光ELのフォーカス位置CP及び材料制御点MCPの位置の少なくとも一つを制御することで、加工システムSYSの加工モードを切り替えてもよい。典型的には、制御ユニット7は、「第1造形動作を行う場合の加工光ELのフォーカス位置CPと材料制御点MCPとの間の距離D3が、第2造形動作を行う場合の加工光ELのフォーカス位置CPと材料制御点MCPとの間の距離D3よりも長くなる」と

いう第3距離条件を満たすように加工光ELのフォーカス位置CP及び材料制御点MCPの位置の少なくとも一つを制御することで、加工システムSYSの加工モードを切り替えてもよい。尚、図14(b)に示す例では、Z軸方向において材料制御点MCPが加工光ELのフォーカス位置CPと同じ位置に位置しているため、距離D3がゼロになっている例を示しているが、距離D3は、ゼロでなくてもよい。

[0206] この場合、制御ユニット7は、加工光ELのフォーカス位置CPと材料制御点MCPとの間の距離D3が、第1造形動作を行うために適した第1距離D31となるように、フォーカス位置CP及び材料制御点MCPの位置の少なくとも一つを制御することで、加工システムSYSの加工モードを、第1モードに設定してもよい。一方で、制御ユニット7は、加工光ELのフォーカス位置CPと材料制御点MCPとの間の距離D3が、第2造形動作を行うために適した第2距離D32となるように、フォーカス位置CP及び材料制御点MCPの位置の少なくとも一つを制御することで、加工システムSYSの加工モードを、第2モードに設定してもよい。

[0207] 第2距離D32は、第1距離D31よりも短い。つまり、第1距離D31は、第2距離D32よりも長い。第2距離D32は、ゼロであってもよいし、ゼロよりも長くてもよい。第1距離D31は、ゼロよりも長くてもよいが、ゼロではないことが好ましい。

[0208] 尚、第1距離D31及び第2距離D32のそれぞれは、加工条件（例えば、加工システムSYSの特性、造形材料Mの特性及びワークW特性の少なくとも一つ）等に基づいて設定されていてもよい。或いは、第1距離D31及び第2距離D32のそれぞれは、加工システムSYSのユーザによって設定されていてもよい。

[0209] このように第3距離条件が満たされる場合には、第3距離条件が満たされない場合と比較して、第1造形動作を行う場合に、材料制御点MCPが、造形面MSの下方に位置する可能性が高くなる。このため、第4モード設定動作の説明で説明したように、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間に

において、造形材料Mに加工光ELが照射される（その結果、造形材料Mが溶融する）可能性が低くなる。このため、加工システムSYSは、加工光ELを造形面MSに照射することで、造形面MSに溶融池MPを適切に形成し、造形面MSに形成された溶融池MPに造形材料Mを適切に供給することができる。

[0210] 更に、第3距離条件が満たされる場合には、第3距離条件が満たされない場合と比較して、第2造形動作を行う場合に、材料制御点MCPが、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間に位置する（つまり、造形面MSの上方に位置する）可能性が高くなる。このため、第5モード設定動作の説明で説明したように、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間において、造形材料Mに加工光ELが照射される（その結果、造形材料Mが溶融する）可能性が高くなる。このため、加工システムSYSは、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間において造形材料Mを適切に溶融させることができる。

[0211] 尚、図14（b）に示すように、第2造形動作において造形材料Mに加工光ELが照射される材料照射面ESは、Z軸方向において材料制御点MCPと同じ位置に設定される又はZ軸方向において材料制御点MCPの近傍に設定される仮想的な材料供給面PLであるとみなしてもよい。つまり、Z軸方向において材料制御点MCPと同じ位置に設定される又はZ軸方向において材料制御点MCPの近傍に設定される仮想的な材料供給面PLが、材料照射面ESとして用いられてもよい。

（2-3-8）第8モード設定動作

[0212] 材料ノズル212が複数の異なる材料供給方向のそれぞれから造形材料Mを供給する場合には、制御ユニット7は、複数の異なる材料供給方向から供給される造形材料Mが交差する位置で造形材料Mが加工光ELによって溶融されるように、加工光ELのフォーカス位置CP及び材料制御点MCPの位置の少なくとも一つを制御することで、加工システムSYSの加工モードを第2モードに設定する第8モード設定動作を行ってもよい。つまり、図14

(b) に示すように、制御ユニット7は、複数の異なる材料供給方向から供給される造形材料Mが交差する位置で、造形材料Mに加工光ELが照射されるように、加工光ELのフォーカス位置CP及び材料制御点MCPの位置の少なくとも一つを制御することで、加工システムSYSの加工モードを第2モードに設定する第8モード設定動作を行ってもよい。例えば、制御ユニット7は、材料供給口2121の第1供給口部分2122から第1の材料供給方向に沿って供給される造形材料Mと、材料供給口2121の第2供給口部分2123から第2の材料供給方向に沿って供給される造形材料Mとが交差する位置で造形材料Mが溶融するように、加工光ELのフォーカス位置CP及び材料制御点MCPの位置の少なくとも一つを制御することで、加工システムSYSの加工モードを第2モードに設定する第8モード設定動作を行ってもよい。

[0213] この場合も、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間において（つまり、造形面MSの上方において）、造形材料Mに加工光ELが照射される（その結果、造形材料Mが溶融する）可能性が高くなる。このため、加工システムSYSは、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間において造形材料Mを適切に溶融させることができる。

[0214] 尚、図14(b)に示すように、複数の異なる材料供給方向から供給される造形材料Mが交差する位置で造形材料Mが加工光ELによって溶融される場合には、材料ノズル212は、造形面MSと交差する方向から造形面MS上の材料供給位置MSPに向かって造形材料Mを供給すると共に、照射光学系211は、材料供給位置MSPとは異なる方向に向かう加工光ELを用いて、材料照射面ES上において造形材料Mを溶融しているとみなしてもよい。このため、第8モード設定動作は、材料ノズル212が、造形面MSと交差する方向から造形面MS上の材料供給位置MSPに向かって造形材料Mを供給すると共に、照射光学系211が、材料供給位置MSPとは異なる方向に向かう加工光ELを用いて、材料照射面ES上において造形材料Mを溶融するように、加工光ELのフォーカス位置CP及び材料制御点MCPの位置

の少なくとも一つを制御することで、加工システムS Y Sの加工モードを第2モードに設定する動作であるとみなしてもよい。

[0215] また、複数の異なる材料供給方向から供給される造形材料Mが交差する位置で造形材料Mが溶融される場合には、材料照射面E Sは、複数の異なる材料供給方向から供給される造形材料Mが交差する位置又はその近傍に設定される仮想的な材料供給面P Lであるとみなしてもよい。つまり、複数の異なる材料供給方向から供給される造形材料Mが交差する位置又はその近傍に設定される仮想的な材料供給面P Lが、材料照射面E Sとして用いられてもよい。

[0216] 尚、複数の異なる材料供給方向から供給される造形材料Mが交差する点が材料制御点M C Pとして用いられてもよいことは、上述したとおりである。この場合、複数の異なる材料供給方向から供給される造形材料Mが交差する位置で造形材料Mが加工光E Lによって溶融される場合には、複数の異なる材料供給方向から供給される造形材料Mが交差する位置は、加工光E Lの光路上に位置している。このため、材料制御点M C Pもまた、加工光E Lの光路上に位置する点であってもよい。材料制御点M C Pは、加工光E Lの光路に沿って延びる仮想的な軸上に位置する点であってもよい。材料制御点M C Pは、加工光E Lを射出する照射光学系2 1 1の光軸A X上に位置する点であってもよい。

[0217] 更に、材料制御点M C Pを含む材料照射面E S内において造形材料Mの供給量の分布に応じて定まる領域内に、材料制御点M C P及び光軸A Xの双方が位置していてもよい。例えば、材料制御点M C Pを含む材料照射面E S内において造形材料Mの供給量の分布の半値半幅（或いは、半値全幅）の領域内に、材料制御点M C P及び光軸A Xの双方が位置していてもよい。この場合、対物光学系として機能する第3光学系2 1 6（特に、f θ レンズ2 1 6 2）の径は、材料制御点M C Pを含む材料照射面E S内において造形材料Mの供給量の分布の半値半幅（或いは、半値全幅）よりも小さくてもよい。尚、第4モード設定動作から第8モード設定動作を行うことで加工システムS

YSの加工モードを第1モード又は第2モードに設定する場合に、加工光ELのフォーカス位置CPは固定されていてもよい。言い換えれば、加工システムSYSの加工モードが第1モードに設定されている場合の加工光ELのフォーカス位置CPと、加工システムSYSの加工モードが第2モードに設定されている場合の加工光ELのフォーカス位置CPとは同じであってもよい。この場合、加工システムSYSは、材料制御点MCPの位置を制御することで、加工システムSYSの加工モードを切り替えてもよい。また、加工システムSYSは、加工光ELのフォーカス位置CPを制御することなく、材料制御点MCPの位置を制御することで、加工システムSYSの加工モードを切り替えてもよい。

(2-3-9) 材料制御点MCPの位置及び加工光ELのフォーカス位置CPの制御方法の具体例

[0218] 制御ユニット7は、材料制御点MCPの位置を制御するために、ノズル駆動系23を制御してもよい。具体的には、図15に示すように、制御ユニット7は、ノズル駆動系23を制御して材料ノズル212をZ軸方向に沿って移動させることで、材料ノズル212を基準に定まる材料制御点MCPの位置を制御（典型的には、変更）してもよい。例えば、図15に示すように、加工システムSYSが第1造形動作を行っている（つまり、加工システムSYSの加工モードが第1モードに設定されている）状況下で、制御ユニット7は、材料ノズル212をZ軸方向に沿って+Z側に向けて移動させることで、加工システムSYSの加工モードを、第1モードから第2モードに切り替えてもよい。例えば、図15に示すように、加工システムSYSが第2造形動作を行っている（つまり、加工システムSYSの加工モードが第2モードに設定されている）状況下で、制御ユニット7は、材料ノズル212をZ軸方向に沿って-Z側に向けて移動させることで、加工システムSYSの加工モードを、第2モードから第1モードに切り替えてもよい。

[0219] 制御ユニット7は、材料制御点MCPの位置を制御するために、材料ノズル212から供給される造形材料Mの供給経路に対して気体を供給可能な（

典型的には、吹き付け可能な) 気体ノズル 2 1 7 を制御してもよい。具体的には、図 1 6 に示すように、制御ユニット 7 は、気体ノズル 2 1 7 からの気体の供給の ON/OFF を制御して材料ノズル 2 1 2 からの造形材料 M の材料供給方向を変更することで、造形材料 M が交差する点に相当する材料制御点 MCP の位置を制御 (典型的には、変更) してもよい。例えば、図 1 6 に示すように、加工システム SYS が第 1 造形動作を行っている (つまり、加工システム SYS の加工モードが第 1 モードに設定されている) 状況下で、制御ユニット 7 は、気体を供給するように気体ノズル 2 1 7 を制御することで、造形材料 M が材料ノズル 2 1 2 と造形面 MS との間の空間で交差するように造形材料 M の材料供給方向を変更し、その結果、加工システム SYS の加工モードを、第 1 モードから第 2 モードに切り替えてもよい。或いは、図示しないものの、例えば、加工システム SYS が第 1 造形動作を行っている (つまり、加工システム SYS の加工モードが第 1 モードに設定されている) 状況下で、制御ユニット 7 は、気体の供給を停止するように気体ノズル 2 1 7 を制御することで、造形材料 M が材料ノズル 2 1 2 と造形面 MS との間の空間で交差するように造形材料 M の材料供給方向を変更し、その結果、加工システム SYS の加工モードを、第 1 モードから第 2 モードに切り替えてもよい。例えば、図 1 6 に示すように、加工システム SYS が第 2 造形動作を行っている (つまり、加工システム SYS の加工モードが第 2 モードに設定されている) 状況下で、制御ユニット 7 は、気体の供給を停止するように気体ノズル 2 1 7 を制御することで、造形材料 M の材料供給方向を元に戻し、その結果、加工システム SYS の加工モードを、第 2 モードから第 1 モードに切り替えてもよい。或いは、図示しないものの、例えば、加工システム SYS が第 2 造形動作を行っている (つまり、加工システム SYS の加工モードが第 2 モードに設定されている) 状況下で、制御ユニット 7 は、気体を供給するように気体ノズル 2 1 7 を制御することで、造形材料 M の材料供給方向を元に戻し、その結果、加工システム SYS の加工モードを、第 2 モードから第 1 モードに切り替えてもよい。

[0220] 或いは、図示しないものの、制御ユニット7は、気体ノズル217からの気体の供給のON/OFFを制御することに加えて又は代えて、気体ノズル217からの気体の供給方向を制御することで、材料ノズル212からの造形材料Mの材料供給方向を変更してもよい。つまり、制御ユニット7は、気体ノズル217からの気体の供給のON/OFFを制御することに加えて又は代えて、気体ノズル217からの気体の供給方向を制御することで、造形材料Mが交差する点に相当する材料制御点MCPの位置を制御（典型的には、変更）してもよい。例えば、加工システムSYSが第2造形動作を行っている状況下で、制御ユニット7は、気体の供給方向を変えるように気体ノズル217を制御することで、造形材料Mの材料供給方向を変化させ、その結果、加工システムSYSの加工モードを、第2モードから第1モードに切り替えてもよい。例えば、加工システムSYSが第1造形動作を行っている状況下で、制御ユニット7は、気体の供給方向を変えるように気体ノズル217を制御することで、造形材料Mの材料供給方向を変化させ、その結果、加工システムSYSの加工モードを、第1モードから第2モードに切り替えてもよい。

[0221] 或いは、図示しないものの、制御ユニット7は、気体ノズル217からの気体の供給のON/OFF及び気体ノズル217からの気体の供給方向の少なくとも一つを制御することに加えて又は代えて、気体ノズル217からの気体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の材料供給方向を変更してもよい。つまり、制御ユニット7は、気体ノズル217からの気体の供給のON/OFF及び気体ノズル217からの気体の供給方向の少なくとも一つを制御することに加えて又は代えて、気体ノズル217からの気体の供給量を制御することで、造形材料Mが交差する点に相当する材料制御点MCPの位置を制御（典型的には、変更）してもよい。例えば、加工システムSYSが第2造形動作を行っている状況下で、制御ユニット7は、気体の供給量を変える（例えば、増やす又は減らす）ように気体ノズル217を制御することで、造形材料Mの材料供給方向を変化させ、その結果

、加工システムS Y Sの加工モードを、第2モードから第1モードに切り替えてもよい。例えば、加工システムS Y Sが第1造形動作を行っている状況下で、制御ユニット7は、気体の供給量を変える（例えば、増やす又は減らす）ように気体ノズル217を制御することで、造形材料Mの材料供給方向を変化させ、その結果、加工システムS Y Sの加工モードを、第1モードから第2モードに切り替えてもよい。

[0222] 制御ユニット7は、フォーカス位置C Pを制御するために、照射光学系211が備えるフォーカス制御光学系2145及び2156の少なくとも一方を制御してもよい。特に、制御ユニット7は、材料制御点M C Pの制御と並行して又は相前後して、フォーカス制御光学系2145及び2156の少なくとも一方を制御することで、材料制御点M C Pの制御に合わせてフォーカス位置C Pを制御してもよい。

（2-3-10）材料制御点M C Pの位置、加工光E Lのフォーカス位置C P及び造形面M Sの位置に関する位置情報の活用

[0223] 上述したように、加工システムS Y Sの加工モードは、加工光E Lのフォーカス位置C P、材料制御点M C Pの位置及び造形面M Sの位置のうちの少なくとも一つに依存して切り替え可能である。このため、加工光E Lのフォーカス位置C P、材料制御点M C Pの位置及び造形面M Sの位置は、加工システムS Y Sの加工モードに影響を与える指標値であるとみなしてもよい。

[0224] この場合、加工システムS Y Sが三次元構造物S Tを造形する期間中において、制御ユニット7は、加工光E Lのフォーカス位置C P、材料制御点M C Pの位置及び造形面M Sの位置の少なくとも一つに関する位置情報を、ログ情報として収集してもよい。制御ユニット7がログ情報を収集するために、加工システムS Y Sは、加工光E Lのフォーカス位置C P、材料制御点M C Pの位置及び造形面M Sの位置の少なくとも一つに関する位置情報を検知するセンサを備えていてもよい。収集されたログ情報は、加工システムS Y Sの動作を事後的に検証するために用いられてもよい。収集されたログ情報は、加工システムS Y Sが造形した三次元構造物S Tの品質を事後的に検証

するために用いられてもよい。

(3) 第1及び第2造形動作の双方を用いた三次元構造物S Tの造形

[0225] 上述したように、加工システムS Y Sは、第1及び第2造形動作の双方を行うことで、三次元構造物S Tを造形してもよい。具体的には、加工システムS Y Sは、第1造形動作を行うことで、三次元構造物S Tの一部を造形し、第2造形動作を行うことで、三次元構造物S Tの他の一部を造形してもよい。つまり、加工システムS Y Sは、第1造形動作を行うことで、三次元構造物S Tのうちの第1部分を造形し、第2造形動作を行うことで、第1部分とは異なる三次元構造物S Tの第2部分を造形してもよい。特に、加工システムS Y Sは、第1の期間中に第1造形動作を行うことで、三次元構造物S Tの一部を造形し、第1の期間とは異なる第2の期間中に第2造形動作を行うことで、三次元構造物S Tの他の一部を造形してもよい。つまり、加工システムS Y Sは、第1の期間中に第1造形動作を行うことで、三次元構造物S Tの第1部分を造形し、第1の期間とは異なる第2の期間中に第2造形動作を行うことで、三次元構造物S Tの第2部分を造形してもよい。

[0226] この場合、制御ユニット7は、第1造形動作を行う加工ユニット2が三次元構造物S Tの一部（第1部分）を造形し、且つ、第2造形動作を行う加工ユニット2が三次元構造物S Tの他の一部（第2部分）を造形するように、加工システムS Y Sの加工モードを切り替えてもよい。

以下、第1及び第2造形動作との双方を行うことで三次元構造物S Tを造形する動作の具体例について説明する。

(3-1) 第1及び第2造形動作の双方を用いて三次元構造物S Tを造形する動作の第1具体例

[0227] はじめに、第1及び第2造形動作との双方を行うことで三次元構造物S Tを造形する動作の第1具体例について説明する。第1具体例では、加工システムS Y Sは、三次元構造物S Tを構成する複数の構造層S Lのそれぞれを造形するために、第1及び第2造形動作との双方を行ってもよい。このため、第1具体例では、制御ユニット7は、加工システムS Y Sが各構造層S L

を造形する期間中に、加工システム S Y S の加工モードを、第 1 モードと第 2 モードとの間で切り替えてもよい。

[0228] 具体的には、第 1 具体例では、図 17 (a) 及び図 17 (b) に示すように、加工システム S Y S は、第 1 造形動作を行うことで、構造層 S L の一部に相当する外壁造形物 S L - 1 を造形してもよい。外壁造形物 S L - 1 は、三次元構造物 S T が完成した時点で外部に露出する面を有する造形物であってもよい。外壁造形物 S L - 1 は、三次元構造物 S T の外面となる面を有する造形物であってもよい。外壁造形物 S L - 1 は、構造層 S L の積層方向に交差する方向（例えば、Z 軸に交差する方向）を向いた面を有する造形物であってもよい。外壁造形物 S L - 1 は、構造層 S L の積層方向に交差する方向に沿って所定の幅を有する造形物を含んでいてもよい。図 17 (a) 及び図 17 (b) は、外壁造形物 S L - 1 が、枠状の造形物である例を示している。

[0229] 一方で、図 17 (a) 及び図 17 (c) に示すように、加工システム S Y S は、第 2 造形動作を行うことで、構造層 S L の残りの一部に相当する充填造形物 S L - 2 を造形してもよい。充填造形物 S L - 2 は、三次元構造物 S T が完成した時点で外部に露出しない造形物を含んでいてもよい。充填造形物 S L - 2 は、外壁造形物 S L - 1 によって少なくとも部分的に取り囲まれる造形物を含んでいてもよい。充填造形物 S L - 2 は、構造層 S L の積層方向に交差する面内において、外壁造形物 S L - 1 によって少なくとも部分的に取り囲まれる造形物を含んでいてもよい。充填造形物 S L - 2 は、外壁造形物 S L - 1 の内側に位置する造形物を含んでいてもよい。充填造形物 S L - 2 は、構造層 S L の積層方向に交差する面内において、外壁造形物 S L - 1 の内側に位置する造形物を含んでいてもよい。充填造形物 S L - 2 は、外壁造形物 S L - 1 の空隙部分 G 1（つまり、外壁造形物 S L - 1 によって取り囲まれた空間）を埋める造形物を含んでいてもよい。この場合、外壁造形物 S L - 1 は、外壁造形物 S L - 1 によって囲まれた空隙部分 G 1 を含む造形物を含んでいてもよい。図 17 (a) 及び図 17 (c) は、充填造形物 S

L-2が、断面が矩形の形状となる三次元状の空隙部分G1を埋める、矩形の外形形状を有する造形物である例を示している。

[0230] 加工システムSYSは、第1造形動作を行うことで外壁造形物SL-1を造形し、その後、第2造形動作を行うことで充填造形物SL-2を造形してもよい。加工システムSYSは、第2造形動作を行うことで充填造形物SL-2を造形し、その後、第1造形動作を行うことで外壁造形物SL-1を造形してもよい。加工システムSYSは、第1造形動作を行うことで外壁造形物SL-1の一部を造形する動作と、第2造形動作を行うことで充填造形物SL-2の一部を造形する動作とを、交互に繰り返してもよい。

[0231] ここで、第1造形動作による造形精度は、通常は、第2造形動作による造形精度よりも高くなる。以下、第1造形動作による造形精度が第2造形動作による造形精度よりも高くなる理由について説明する。上述したように、第1造形動作は、造形面MSに加工光ELを照射することで造形面MSに熔融池MPを形成し、形成した熔融池MPに造形材料Mを供給することで、造形物を造形する動作である。この場合、第1造形動作による造形精度は、熔融池MPが形成される位置の精度に依存する。熔融池MPが形成される位置の精度は、造形面MS上での加工光ELの照射位置の精度に依存する。ここで、造形面MS上での加工光ELの照射位置は、ガルバノミラー2146又は2156によって、相対的に高い精度で制御可能である。一方で、第2造形動作は、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間で熔融させた造形材料Mを造形面MSに供給することで、造形物を造形する動作である。この場合、第2造形動作による造形精度は、熔融した造形材料Mの造形面MS上での供給位置の精度に依存する。ここで、熔融した造形材料Mの造形面MS上での供給位置は、上述した第1造形動作による造形精度に影響を与える造形面MS上での加工光ELの照射位置と比較して、必ずしも高い精度で制御できるとは限らない。なぜならば、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間を落下する、熔融した造形材料Mの軌道を、必ずしも高い精度で制御できるとは限らないからである。このような理由で、第1造形動作による造形精度

は、通常は、第2造形動作による造形精度よりも高くなる。

[0232] その結果、第1造形動作を行うことで外壁造形物SL-1が造形される場合には、第2造形動作を行うことで外壁造形物SL-1が造形される場合と比較して、加工システムSYSは、三次元構造物STの外面を形成する外壁造形物SL-1を、より高い造形精度で造形することができる。このため、加工システムSYSは、外形の寸法誤差が相対的に少ない三次元構造物STを造形することができる。

[0233] 一方で、既に説明したように、第2造形動作による造形速度は、第1造形動作による造形速度よりも速くなる。このため、第2造形動作を行うことで充填造形物SL-2が造形される場合には、第1造形動作を行うことで充填造形物SL-2が造形される場合と比較して、充填造形物SL-2の造形に必要な時間が短くなる。一方で、充填造形物SL-2は、三次元構造物STの外部に露出しないがゆえに、第2造形動作を行うことで充填造形物SL-2が造形される場合であっても、三次元構造物STの外形の寸法精度が悪化する可能性は低い。

[0234] このため、第1具体例では、第1及び第2造形動作のいずれか一方のみを行うことで三次元構造物STが造形される場合と比較して、加工システムSYSは、外形の寸法誤差が相対的に少ない三次元構造物STを、相対的に短い時間で造形することができる。つまり、加工システムSYSは、造形精度の向上（例えば、三次元構造物STの外形の寸法誤差の向上）という効果と、三次元構造物STの造形に必要な時間の短縮（つまり、スループットの向上）という効果との両立を図ることができる。

(3-2) 第1及び第2造形動作の双方を用いて三次元構造物STを造形する動作の第2具体例

[0235] 続いて、第1及び第2造形動作との双方を行うことで三次元構造物STを造形する動作の第2具体例について説明する。第2具体例においても、第1具体例と同様に、加工システムSYSは、三次元構造物STを構成する複数の構造層SLのそれぞれを造形するために、第1及び第2造形動作との双方

を行ってもよい。このため、第2具体例においても、第1具体例と同様に、制御ユニット7は、加工システムSYSが構造層SL#1を造形する期間中に、加工システムSYSの加工モードを、第1モードと第2モードとの間で切り替えてもよい。

[0236] 第2具体例では特に、加工システムSYSは、三次元構造物STを構成する複数の構造層SLのうちの一層目の構造層SL#1を造形するために、第1及び第2造形動作との双方を行ってもよい。但し、加工システムSYSは、三次元構造物STを構成する任意の構造層SLを造形するために、第1及び第2造形動作との双方を行ってもよい。以下では、一層目の構造層SL#1を造形するために加工システムSYSが第1及び第2造形動作との双方を行う例について説明する。この場合、加工システムSYSは、第1造形動作を行うことで、構造層SL#1の一部である第1構造層部分SL#1-1を造形し、第2造形動作を行うことで、構造層SL#1の他の一部である第2構造層部分SL#1-1を造形する。

第2具体例において造形される構造層SL#1の一例が、図18(a)及び図18(b)に示されている。

[0237] 図18(a)及び図18(b)に示すように、加工システムSYSは、第1造形動作を行うことで、第1構造層部分SL#1-1を造形してもよい。ここで、図18(b)に示すように、第1構造層部分SL#1-1は、ワークWと一体化された(つまり、結合した)造形物であってもよい。或いは、第1構造層部分SL#1-1は、ワークWと相対的に強い結合力で結合された造形物であってもよい。上述したように、第1造形動作を行う加工システムSYSは、ワークWの表面に相当する造形面MSに加工光ELを照射しているがゆえに、加工光ELの照射によってワークWの一部が溶融する。このため、加工システムSYSは、ワークWの一部が溶融することで形成される溶融池MPの造形材料Mを供給することで、ワークWと一体化された又はワークWと相対的に強い結合力で結合された第1構造層部分SL#1-1を適切に造形することができる。

[0238] 一方で、図18(a)及び図18(b)に示すように、加工システムSYSは、第2造形動作を行うことで、第2構造層部分SL#1-2を造形してもよい。ここで、図18(b)に示すように、第2構造層部分SL#1-2は、ワークWと一体化されていない（つまり、結合していない）造形物であってもよい。或いは、第2構造層部分SL#1-2は、ワークWと相対的に弱い結合力で結合された造形物であってもよい。つまり、第2構造層部分SL#1-2とワークWとの結合力は、第1構造層部分SL#1-1とワークWとの結合力よりも弱くてもよい。上述したように、第2造形動作を行う加工システムSYSは、溶融した造形材料MをワークWの表面に相当する造形面MSに供給する。このため、ワークWの一部が加工光ELによって直接的に溶融することは殆どない。このため、加工システムSYSは、溶融した造形材料Mを造形面MSに供給することで、ワークWと一体化されていない又はワークWと相対的に弱い結合力で結合された第2構造層部分SL#1-2を適切に造形することができる。

[0239] 加工システムSYSは、複数の第1構造層部分SL#1-1を造形してもよい。特に、加工システムSYSは、造形面MS上で離散的に分布した複数の第1構造層部分SL#1-1を造形してもよい。一方で、加工システムSYSは、複数の第1構造層部分SL#1-1をつなぐ第2構造層部分SL#1-2を造形してもよい。その結果、加工システムSYSは、複数の第1構造層部分SL#1-1と第2構造層部分SL#1-2とが一体化された構造層SL#1を造形してもよい。この場合、複数の第1構造層部分SL#1-1を介して構造層SL#1がワークWに固定されるがゆえに、三次元構造物STを造形する期間中に、ワークW上に造形された造形物（例えば、構造層SL#1を含む少なくとも一つの構造層SL）が意図せずに動いてしまうことがなくなる。

[0240] 第2具体例では、図19に示すように、制御ユニット7は、ガルバノミラー2146及び2156の少なくとも一方を用いて加工光ELを偏向している期間中に、加工システムSYSの加工モードを、第1モードと第2モード

との間で切り替えてもよい。例えば、制御ユニット7は、加工システムSYSの加工モードを第2モードに設定した上で、ガルバノミラー2146及び2156の少なくとも一方を用いて加工光ELを偏向しながら第2構造層部分SL#1-2を造形するように、加工ユニット2を制御してもよい。ガルバノミラー2146及び2156の少なくとも一方を用いて加工光ELが偏向されている期間中に、あるタイミングで、造形面MS上において第1構造層SL#1-1を造形するべき位置に加工光ELが照射されることになる。この場合、制御ユニット7は、そのタイミングで、加工システムSYSの加工モードを第2モードから第1モードに切り替え、第1構造層部分SL#1-1を造形するように、加工ユニット2を制御してもよい。

[0241] ここで、上述したように、第1造形動作によってワークWの一部が溶融される一方で、第2造形動作によってワークWの一部が溶融されなくてもよいがゆえに、第1造形動作を行うために用いられる加工光ELの強度は、第2造形動作を行うために用いられる加工光ELの強度とは異なってもよい。このため、制御ユニット7は、加工システムSYSの加工モードの切り替えに合わせて、加工光ELの強度を変更してもよい。

[0242] 典型的には、第1造形動作を行うために用いられる加工光ELの強度は、第2造形動作を行うために用いられる加工光ELの強度よりも高くてもよい。言い換えれば、第2造形動作を行うために用いられる加工光ELの強度は、第1造形動作を行うために用いられる加工光ELの強度よりも低くてもよい。例えば、第1造形動作を行うために用いられる加工光ELの強度は、ワークWの一部を溶融させることができるほどに高い強度であってもよい。例えば、第2造形動作を行うために用いられる加工光ELの強度は、ワークWの一部を溶融させることができないほどには強くない強度であってもよい。但し、第2造形動作を行うために用いられる加工光ELの強度は、造形材料Mを溶融させることができるほどの強い強度であることが好ましい。その結果、加工システムSYSは、第1造形動作を行うことで、ワークWと一体化された又はワークWと相対的に強い結合力で結合された第1構造層部分SL

1 - 1 を造形し、且つ、第 2 造形動作を行うことで、ワーク W と一体化されてない又はワーク W と相対的に弱い結合力で結合された第 2 構造層部分 S L # 1 - 2 を造形することができる。

[0243] 尚、ガルバノミラー 2 1 4 6 及び 2 1 5 6 の少なくとも一方を用いて加工光 E L が偏向されている期間中は、加工光 E L が移動し続ける。このため、造形面 M S 上において第 1 構造層 S L # 1 - 1 を造形すべき位置に加工光 E L が照射される期間は、それほど長くはない可能性がある。このため、加工光 E L のフォーカス位置 C P 及び材料制御点 M C P の位置の少なくとも一方を、ガルバノミラー 2 1 4 6 及び 2 1 5 6 の駆動周期に応じた相対的に短い時間内に制御することが容易ではない可能性がある。この場合、制御ユニット 7 は、上述したモード設定動作を行うことに加えて又は代えて、加工光 E L の強度を変更することで、加工システム S Y S の加工モードを、第 1 モードと第 2 モードとの間で実質的に切り替えてもよい。つまり、制御ユニット 7 は、第 1 造形動作を行うために用いられる加工光 E L の強度と第 2 造形動作を行うために用いられる加工光 E L の強度とが異なるものとなるように、加工光 E L の強度を変更することで、加工システム S Y S の加工モードを、第 1 モードと第 2 モードとの間で切り替えてもよい。典型的には、制御ユニット 7 は、第 1 造形動作を行うために用いられる加工光 E L の強度が第 2 造形動作を行うために用いられる加工光 E L の強度よりも高くなるように、加工光 E L の強度を変更することで、加工システム S Y S の加工モードを、第 1 モードと第 2 モードとの間で切り替えてもよい。

[0244] 構造層 S L # 1 が造形された後には、加工システム S Y S は、第 1 及び第 2 造形動作のいずれか一方を行うことで、残りの構造層 S L を造形してもよい。但し、加工システム S Y S は、残りの構造層 S L を造形する場合においても、1 層目の構造層 S L # 1 を造形する場合と同様に、第 1 及び第 2 造形動作の双方を行ってもよい。その結果、図 2 0 に示すように、第 1 及び第 2 造形動作の双方を行うことで造形された構造層 S L # 1 を含む三次元構造物 S T が造形される。例えば、第 1 構造層部分 S L # 1 - 1 を介してワーク W

に結合された三次元構造物 S T が造形される。

[0245] 三次元構造物 S T が造形された後には、加工システム S Y S は、加工システム S Y S が備える分離装置 8 1 を用いて、ワーク W から三次元構造物 S T を分離するための分離動作を行ってもよい。或いは、加工システム S Y S とは異なる装置が分離装置 8 1 を備えている場合には、加工システム S Y S (特に、ステージ 3 1) から、三次元構造物 S T が造形されたワーク W が取り出され、加工システム S Y S とは異なる装置が、分離装置 8 1 を用いて、ワーク W から三次元構造物 S T を分離するための分離動作を行ってもよい。加工システム S Y S とは異なる装置が分離動作を行う場合には、加工システム S Y S は、分離装置 8 1 を備えていなくてもよい。

[0246] 分離装置 8 1 は、ワーク W と一体化されている第 1 構造層部分 S L # 1 - 1 を破壊することで、ワーク W から、第 2 構造層部分 S L # 1 - 2 を含む三次元構造物 S T を分離してもよい。例えば、分離装置 8 1 は、第 1 構造層部分 S L # 1 - 1 の全体を破壊してもよい。この場合、ワーク W から分離された三次元構造物 S T には、第 1 構造層部分 S L # 1 - 1 が含まれていなくてもよい。或いは、例えば、分離装置 8 1 は、第 1 構造層部分 S L # 1 - 1 の一部を破壊する一方で、第 1 構造層部分 S L # 1 - 1 の他の一部を破壊しなくてもよい。この場合、ワーク W から分離された三次元構造物 S T には、第 1 構造層部分 S L # 1 - 1 の一部が含まれていない一方で、第 1 構造層部分 S L # 1 - 1 の他の一部が含まれていてもよい。

[0247] 分離装置 8 1 の一例が、図 2 1 (a) に示されている。図 2 1 (a) に示すように、分離装置 8 1 は、ワーク W を振動させる振動装置を含んでもよい。この場合、分離装置 8 1 は、ワーク W を振動させることで、ワーク W から三次元構造物 S T を分離してもよい。具体的には、ワーク W が振動すると、第 1 構造層部分 S L # 1 - 1 にワーク W の振動が伝達される。ここで、第 1 構造層部分 S L # 1 - 1 がワーク W と一体化されている又は相対的に強い結合力で結合されているため、第 1 構造部分 S L # 1 - 1 には、ワーク W の振動がそのまま伝達されやすい。その結果、第 1 構造層部分 S L # 1 - 1

は、振動に起因して破壊されやすい。一方で、第2構造層部分SL#1-2がワークWと一体化されていない又は相対的に弱い結合力で結合されているに過ぎないがゆえに、第2構造部分SL#1-2には、ワークWの振動がそのまま伝達される可能性は低い。その結果、第1構造層部分SL#1-1は、振動に起因して破壊されにくい。このため、図21(b)に示すように、分離装置81は、第1構造層部分SL#1-1を選択的に破壊することで、第2構造層部分SL#1-2を含む三次元構造物STをワークWから適切に分離することができる。

[0248] 分離装置81は、ワークWの共振周波数でワークWを振動させることで、ワークWから三次元構造物STを分離してもよい。ワークWの共振周波数でワークWが振動する場合には、ワークWの共振周波数とは異なる振動周波数でワークWが振動する場合と比較して、振動するワークWの振幅が大きくなる。その結果、ワークWと一体化された又は相対的に強い結合力で結合されている第1構造層部分SL#1-1が破壊される可能性が高くなる。一方で、第2構造層部分SL#1-2がワークWと一体化されていない又は相対的に弱い結合力で結合されているに過ぎないがゆえに、振動するワークWの振幅が大きくなったとしても、第2構造層部分SL#1-2がワークWの振動に起因して破壊される可能性は低い。このため、図21(b)に示すように、分離装置81は、第1構造層部分SL#1-1を選択的に破壊することで、第2構造層部分SL#1-2を含む三次元構造物STをワークWから適切に分離することができる。

このように、第2具体例では、加工システムSYSは、ワークWからの相対的に容易に分離することが可能な三次元構造物STを造形することができる。

[0249] 尚、上述した説明では、一つの構造層SLが、第1構造層部分SL#1-1と第2構造層部分SL#1-2とを含んでいる。しかしながら、加工システムSYSは、第1構造層部分SL#1-1として機能する第1の構造層SLと、第2構造層部分SL#1-2として機能する第2の構造層SLとを別

々に造形してもよい。例えば、加工システムS Y Sは、第1造形動作を行うことで、第1構造層部分S L # 1 - 1として機能する1層目の構造層S L # 1を造形し、その後、第2造形動作を行うことで、第2構造層部分S L # 1 - 2として機能する2層目の構造層S L # 2を1層目の構造層S L # 1の上に造形してもよい。

(3-3) 第1造形動作及び第2造形動作の並行実施

[0250] 上述した説明では、加工システムS Y Sは、第1の期間中に第1造形動作を行うことで、三次元構造物S Tの一部（第1部分）を造形し、第1の期間とは異なる第2の期間中に第2造形動作を行うことで、三次元構造物S Tの他の一部（第2部分）を造形している。しかしながら、加工システムS Y Sは、第1の期間中に第1造形動作と第2造形動作とを並行して行うことで、三次元構造物S Tの少なくとも一部を造形してもよい。つまり、第1造形動作を行う第1の期間と第2造形動作を行う第2の期間とは少なくとも部分的に重畳していてもよい。

[0251] 例えば、加工システムS Y Sの加工モードが第1モードに設定されている場合であっても、加工システムS Y Sは、第1造形動作と並行して、第2造形動作を行ってもよい。具体的には、加工システムS Y Sの加工モードが第1モードに設定されている場合であっても、加工システムS Y Sは、造形面M Sに加工光E Lを照射することで造形面M Sに溶融池M Pを形成し且つ形成した溶融池M Pに第1の造形材料Mを供給することで第1造形動作を行いながら、材料ノズル2 1 2と造形面M Sとの間の空間において第2の造形材料Mに加工光E Lを照射することで第2の造形材料Mを溶融し且つ溶融した第2の造形材料Mを造形面M Sに供給する第2造形動作を行ってもよい。

[0252] 例えば、加工システムS Y Sの加工モードが第2モードに設定されている場合であっても、加工システムS Y Sは、第2造形動作と並行して、第1造形動作を行ってもよい。具体的には、加工システムS Y Sの加工モードが第2モードに設定されている場合であっても、加工システムS Y Sは、材料ノズル2 1 2と造形面M Sとの間の空間において第1の造形材料Mに加工光E

Lを照射することで第1の造形材料Mを溶融し且つ溶融した第1の造形材料Mを造形面MSに供給する第2造形動作を行いながら、造形面MSに加工光ELを照射することで造形面MSに溶融池MPを形成し且つ形成した溶融池MPに第2の造形材料Mを供給する第1造形動作を行ってもよい。

[0253] 加工システムSYSが第1造形動作と第2造形動作とを並行して行う場合には、第2造形動作が行われるがゆえに、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間に位置する仮想的な材料照射面ESにおいて、材料ノズル212から供給された造形材料Mに加工光ELが照射される。この場合、材料照射面ESにおいて、材料ノズル212から供給された造形材料Mのうちの一部が加工光ELによって溶融し、材料ノズル212から供給された造形材料Mのうちの残りの一部が加工光ELによって溶融されなくてもよい。この場合、材料照射面ESにおいて溶融しなかった造形材料Mの他の一部は、造形面MSにおいて溶融してもよい。例えば、材料照射面ESにおいて溶融しなかった造形材料Mの他の一部は、造形面MSに形成された溶融池MPにおいて溶融してもよい。

[0254] 材料照射面ESにおいて溶融しなかった造形材料Mの他の一部は、材料照射面ESにおいて、加工光ELによって加熱（例えば、予熱）されてもよい。この場合、造形材料Mのうちの残りの一部が加熱されない場合と比較して、溶融した造形材料Mが固化する場合の造形材料Mの結晶の成長精度が向上する。つまり、溶融した造形材料Mが固化する過程で、造形材料Mの結晶が、想定した成長態様で成長する可能性が高くなる。このため、第1造形動作よりも造形精度が低い第2造形動作が行われる場合であっても、加工システムSYSの造形精度が向上する。その結果、加工システムSYSは、造形精度の向上という効果と、三次元構造物STの造形に必要な時間の短縮（つまり、スループットの向上）という効果との両立を図ることができる。

[0255] 加工システムSYSが第1造形動作と第2造形動作とを並行して行う場合には、制御ユニット7は、第1造形動作によって三次元構造物STが造形される度合い（割合）と、第2造形動作によって三次元構造物STが造形され

る度合い（割合）とを制御してもよい。例えば、制御ユニット7は、第1造形動作が三次元構造物S Tの造形に寄与する度合いと、第2造形動作が三次元構造物S Tの造形に寄与する度合いとの比率を制御してもよい。具体的には、制御ユニット7は、第1造形動作が三次元構造物S Tの造形に寄与する度合いを、0%以上且つ100%以下の第1値に設定し、第2造形動作が三次元構造物S Tの造形に寄与する度合いを、100%から第1の値を引くことで算出される第2の値に設定してもよい。

[0256] 制御ユニット7は、加工光E Lのフォーカス位置C P及び材料制御点M C Pの位置の少なくとも一つを制御することで、第1造形動作によって三次元構造物S Tが造形される度合いと、第2造形動作によって三次元構造物S Tが造形される度合いとを制御してもよい。例えば、加工光E Lのフォーカス位置C Pと造形面M Sとの間の距離D 1が長くなるほど、第1造形動作によって三次元構造物S Tが造形される度合いが小さくなり、第2造形動作によって三次元構造物S Tが造形される度合いが大きくなる。例えば、加工光E Lのフォーカス位置C Pと材料制御点M C Pとの間の距離D 3が短くなるほど、第1造形動作によって三次元構造物S Tが造形される度合いが小さくなり、第2造形動作によって三次元構造物S Tが造形される度合いが大きくなる。このため、制御ユニット7は、加工光E Lのフォーカス位置C P及び材料制御点M C Pの位置の少なくとも一つを制御して距離D 1及びD 3の少なくとも一つを制御することで、第1造形動作によって三次元構造物S Tが造形される度合いと、第2造形動作によって三次元構造物S Tが造形される度合いとを制御してもよい。

[0257] 尚、第1造形動作によって三次元構造物S Tが造形される度合い（割合）は、第1造形動作によって加工光E Lから造形面M Sに伝達されるエネルギー量に基づくパラメータであってもよい。典型的には、第1造形動作によって三次元構造物S Tが造形される度合い（割合）は、第1造形動作によって加工光E Lから造形面M Sに伝達されるエネルギー量に比例するパラメータであってもよい。同様に、第2造形動作によって三次元構造物S Tが造形される

度合い（割合）は、第2造形動作によって加工光ELから材料照射面ES（特に、材料照射面ESに供給された造形材料M）に伝達されるエネルギー量に基づくパラメータであってもよい。典型的には、第1造形動作によって三次元構造物STが造形される度合い（割合）は、第2造形動作によって加工光ELから材料照射面ES（特に、材料照射面ESに供給された造形材料M）に伝達されるエネルギー量に比例するパラメータであってもよい。一例として、第1造形動作によって三次元構造物STが造形される度合い（割合）として、第1造形動作によって加工光ELから造形面MSに伝達されるエネルギー量と第2造形動作によって加工光ELから材料照射面ESに伝達されるエネルギー量との総和に対する、第1造形動作によって加工光ELから造形面MSに伝達されるエネルギー量の比率が用いられてもよい。同様に、第2造形動作によって三次元構造物STが造形される度合い（割合）として、第1造形動作によって加工光ELから造形面MSに伝達されるエネルギー量と第2造形動作によって加工光ELから材料照射面ESに伝達されるエネルギー量との総和に対する、第2造形動作によって加工光ELから材料照射面ESに伝達されるエネルギー量の比率が用いられてもよい。

[0258] この場合、加工システムSYSは、第1造形動作によって三次元構造物STが造形される度合い及び第2造形動作によって三次元構造物STが造形される度合いのいずれか一方が、第1造形動作によって三次元構造物STが造形される度合い及び第2造形動作によって三次元構造物STが造形される度合いのいずれか他方よりも大きくなる状態で、三次元構造物STを造形してもよい。つまり、加工システムSYSは、第1造形動作によって加工光ELから造形面MSに伝達されるエネルギー量及び第2造形動作によって加工光ELから材料照射面ESに伝達されるエネルギー量のいずれか一方が、第1造形動作によって加工光ELから造形面MSに伝達されるエネルギー量及び第2造形動作によって加工光ELから材料照射面ESに伝達されるエネルギー量のいずれか他方よりも大きくなる状態で、三次元構造物STを造形してもよい。一例として、加工システムSYSは、第1造形動作によって三次元構造物S

Tが造形される度合いが70%となり、第2造形動作によって三次元構造物STが造形される度合いが30%となる状態で、三次元構造物STを造形してもよい。一例として、加工システムSYSは、第1造形動作によって三次元構造物STが造形される度合いが30%となり、第2造形動作によって三次元構造物STが造形される度合いが70%となる状態で、三次元構造物STを造形してもよい。

[0259] 尚、第1造形動作によって三次元構造物STが造形される度合いが第2造形動作によって三次元構造物STが造形される度合いよりも大きくなる状態で三次元構造物STを造形する加工システムSYSは、第1モードで三次元造形物STを造形しているとみなしてもよい。言い換えれば、第1造形動作によって加工光ELから造形面MSに伝達されるエネルギー量が第2造形動作によって加工光ELから材料照射面ESに伝達されるエネルギー量よりも大きくなる状態で三次元構造物STを造形する加工システムSYSは、第1モードで三次元造形物STを造形しているとみなしてもよい。一方で、第2造形動作によって三次元構造物STが造形される度合いが第1造形動作によって三次元構造物STが造形される度合いよりも大きくなる状態で三次元構造物STを造形する加工システムSYSは、第2モードで三次元造形物STを造形しているとみなしてもよい。言い換えれば、第2造形動作によって加工光ELから材料照射面ESに伝達されるエネルギー量が第1造形動作によって加工光ELから造形面MSに伝達されるエネルギー量よりも大きくなる状態で三次元構造物STを造形する加工システムSYSは、第2モードで三次元造形物STを造形しているとみなしてもよい。

(4) 第2造形動作の変形例

続いて、第2造形動作の変形例について説明する。

(4-1) 第2造形動作の第1変形例

[0260] はじめに、第2造形動作の第1変形例について説明する。上述した説明では、第2造形動作を行う加工システムSYSは、加工光EL#1及びEL#2の双方を、材料照射面ESにおいて（つまり、材料ノズル212と造形面

MSとの間の空間において) 造形材料Mを溶融させるために用いている。つまり、加工光EL # 1の用途と、加工光EL # 2の用途とが同一である。一方で、第1変形例では、第2造形動作を行う加工システムSYSは、加工光EL # 1及びEL # 2のいずれか一方を、第1の用途で用い、加工光EL # 1及びEL # 2のいずれか一方を、第1の用途とは異なる第2の用途で用いてもよい。つまり、加工システムSYSは、加工光EL # 1及びEL # 2を、用途に応じて使い分けてもよい。

[0261] 例えば、図22に示すように、加工システムSYSは、材料照射面ESにおいて(つまり、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間において、以下同じ)、造形材料Mに加工光EL # 1を照射してもよい。この場合、加工システムSYSは、ガルバノミラー2146を用いて加工光EL # 1を偏向しながら、材料照射面ESにおいて、造形材料Mに加工光EL # 1を照射してもよい。或いは、加工システムSYSは、ガルバノミラー2146を用いて加工光EL # 1を偏向することなく、材料照射面ESにおいて、造形材料Mに加工光EL # 1を照射してもよい。

[0262] 加工システムSYSは、材料照射面ESにおいて造形材料Mに加工光EL # 1を照射することで、材料照射面ESにおいて、造形材料Mを溶融させてもよい。或いは、加工システムSYSは、材料照射面ESにおいて造形材料Mに加工光EL # 1を照射することで、材料照射面ESにおいて、造形材料Mを溶融させなくてもよい。この場合、加工システムSYSは、材料照射面ESにおいて造形材料Mに加工光EL # 1を照射することで、材料照射面ESにおいて、造形材料Mを加熱(例えば、予熱)してもよい。

[0263] 一方で、図22に示すように、加工システムSYSは、造形面MSに加工光EL # 2を照射してもよい。この場合、加工システムSYSは、ガルバノミラー2156を用いて加工光EL # 2を偏向しながら、造形面MSに加工光EL # 2を照射してもよい。或いは、加工システムSYSは、ガルバノミラー2156を用いて加工光EL # 2を偏向することなく、造形面MSに加工光EL # 2を照射してもよい。

[0264] 加工システムS Y Sは、造形面M Sに加工光E L # 2を照射することで、造形面M Sに溶融池M Pを形成してもよい。或いは、加工システムS Y Sは、造形面M Sに加工光E L # 2を照射することで、造形面M Sに溶融池M Pを形成しなくてもよい。この場合、加工システムS Y Sは、造形面M Sに加工光E L # 2を照射することで、造形面M Sを加熱（例えば、予熱）してもよい。或いは、加工システムS Y Sは、造形面M Sに加工光E L # 2を照射することで、溶融することなく造形面M Sに供給された造形材料Mを溶融させてもよい。

[0265] 第2造形動作の第2変形例が行われる場合には、図22に示すように、制御ユニット7は、加工光E L # 1のフォーカス位置C P # 1が、材料ノズル212と造形面M Sとの間の空間に位置するように、加工光E Lのフォーカス位置C Pを制御してもよい。また、図22に示すように、制御ユニット7は、加工光E L # 2のフォーカス位置C P # 2が、造形面M S又はその近傍に位置するように、加工光E Lのフォーカス位置C Pを制御してもよい。特に、図22に示すように、制御ユニット7は、Z軸方向に沿って、加工光E L # 1のフォーカス位置C P # 1と、加工光E L # 2のフォーカス位置C P # 2とが異なるものとなるように、加工光E Lのフォーカス位置C Pを制御してもよい。その結果、加工システムS Y Sは、相対的に高い強度の加工光E L # 1を、材料照射面E Sにおいて造形材料Mに照射することができ、且つ、相対的に高い強度の加工光E L # 2を造形面M Sに照射することができる。

[0266] また、図22に示すように、制御ユニット7は、加工光E L # 1のフォーカス位置C P # 1と造形面M Sとの間の距離D 1が、加工光E L # 2のフォーカス位置C P # 2と造形面M Sとの間の距離D 1よりも長くなるように、加工光E Lのフォーカス位置C Pを制御してもよい。一例として、制御ユニット7は、加工光E L # 1のフォーカス位置C P # 1と造形面M Sとの間の距離D 1が、第2距離D 14よりも長い第1距離D 13となり、加工光E L # 2のフォーカス位置C P # 2と造形面M Sとの間の距離D 1が、第1距離

D 1 3より短い第2距離D 1 4となるように、加工光E Lのフォーカス位置C Pを制御してもよい。尚、図2 2は、加工光E L # 2のフォーカス位置C P # 2が造形面M S上に設定されているため、加工光E L # 2のフォーカス位置C P # 2と造形面M Sとの間の距離D 1がゼロになっている例を示しているが、加工光E L # 2のフォーカス位置C P # 2と造形面M Sとの間の距離D 1は、ゼロでなくてもよい。その結果、加工システムS Y Sは、相対的に高い強度の加工光E L # 1を、材料照射面E Sにおいて造形材料Mに照射することができ、且つ、相対的に高い強度の加工光E L # 2を造形面M Sに照射することができる。

[0267] また、図2 2に示すように、制御ユニット7は、加工光E L # 1のフォーカス位置C P # 1と材料制御点M C Pとの間の距離D 3が、加工光E L # 2のフォーカス位置C P # 2と材料制御点M C Pとの間の距離D 3よりも短くなるように、加工光E Lのフォーカス位置C P及び材料制御点M C Pの位置の少なくとも一つを制御してもよい。一例として、制御ユニット7は、加工光E L # 1のフォーカス位置C P # 1と材料制御点M C Pとの間の距離D 3が、第2距離D 3 4よりも短い第1距離D 3 3となり、加工光E L # 2のフォーカス位置C P # 2と材料制御点M C Pとの間の距離D 3が、第1距離D 3 3より長い第2距離D 3 4となるように、加工光E Lのフォーカス位置C P及び材料制御点M C Pの少なくとも一方を制御してもよい。尚、図2 2に示す例では、Z軸方向において材料制御点M C Pが加工光E L # 1のフォーカス位置C P # 1と同じ位置に位置しているため、加工光E L # 1のフォーカス位置C P # 1と材料制御点M C Pとの間の距離D 3がゼロになっている例を示しているが、加工光E L # 1のフォーカス位置C P # 1と材料制御点M C Pとの間の距離D 3は、ゼロでなくてもよい。その結果、加工システムS Y Sは、相対的に高い強度の加工光E L # 1を、材料照射面E Sにおいて造形材料Mに照射することができ、且つ、相対的に高い強度の加工光E L # 2を造形面M Sに照射することができる。

[0268] 材料照射面E Sにおいて加工光E L # 1が照射された造形材料Mは、造形

面MSに供給されてもよい。例えば、材料照射面ESにおいて加工光EL#1が照射された造形材料Mは、造形面MSのうち加工光EL#2が照射された所望領域に供給されてもよい。所望領域に熔融池MPが形成されている場合には、材料照射面ESにおいて加工光EL#1が照射された造形材料Mは、所望領域に形成された熔融池MPに供給されてもよい。この場合、加工システムSYSは、材料照射面ESにおいて加工光EL#1が照射された造形材料Mを、造形面MSのうち加工光EL#2が照射された所望領域に供給することで、造形面MSのうち加工光EL#2が照射された所望領域に造形物を造形してもよい。尚、第1変形例では、造形面MSのうち加工光EL#2が照射された所望領域を、被照射領域MSLと称する。或いは、例えば、材料照射面ESにおいて加工光EL#1が照射された造形材料Mは、造形面MSのうち被照射領域MSLとは異なる領域（つまり、加工光EL#2が照射されていない領域）に供給されてもよい。この場合、加工システムSYSは、材料照射面ESにおいて加工光EL#1が照射された造形材料Mを、造形面MSのうち被照射領域MSLとは異なる領域に供給することで、被照射領域MSLとは異なる領域に造形物を造形してもよい。

続いて、加工光EL#1及びEL#2の用途に応じた使い分けの具体例について、更に説明を進める。

(4-1-1) 加工光EL#1及びEL#2の用途に応じた使い分けの第1具体例

[0269] 第1具体例では、図23に示すように、加工システムSYSは、材料照射面ESにおいて造形材料Mに加工光EL#1を照射することで、材料照射面ESにおいて、造形材料Mを熔融させる。更に、第1具体例では、図23に示すように、加工システムSYSは、造形面MSに加工光EL#2を照射することで、造形面MSを加熱（例えば、予熱）してもよい。つまり、加工システムSYSは、造形面MSに加工光EL#2を照射することで、造形面MSのうちの加工光EL#2が照射された被照射領域MSLを加熱（例えば、予熱）してもよい。尚、加工システムSYSは、造形面MSに加工光EL#

2を照射することで、造形面MSに溶融池MPを形成しなくてもよい。

[0270] 図23に示すように、加工光EL#1によって溶融した造形材料Mは、加工光EL#2によって加熱された被照射領域MSLに供給されてもよい。つまり、加工システムSYSは、被照射領域MSLを加工光EL#2によって加熱し、その後、加工光EL#1によって溶融した造形材料Mを、加工光EL#2によって加熱された被照射領域MSLに供給してもよい。その結果、造形面MS上に（特に、被照射領域MSL上に）、造形物が造形される。このように、第1具体例では、加工システムSYSは、造形面MSを加熱しながら、上述した第2造形動作を行うことで、造形面MSに造形物を造形してもよい。

[0271] このように予め加熱された造形面MSに造形材料Mが供給される場合には、予め加熱されていない造形面MSに造形材料Mが供給される場合と比較して、溶融した造形材料Mが固化する場合の造形材料Mの結晶の成長精度が向上する。つまり、溶融した造形材料Mが固化する過程で、造形材料Mの結晶が、想定した成長態様で成長する可能性が高くなる。このため、予め加熱された造形面MSに造形材料Mが供給される場合には、予め加熱されていない造形面MSに造形材料Mが供給される場合と比較して、造形される造形物の実際のサイズ（例えば、幅、長さ及び厚さの少なくとも一つ）と目標サイズとの誤差が小さくなる。このため、加工システムSYSの造形精度が向上する。

[0272] このように、第1具体例では、加工システムSYSは、造形材料Mを溶融するために主として用いられる加工光EL#1と、造形精度を向上させるために主として用いられる加工光EL#2とを使い分けることができる。このため、加工光EL#1及びEL#2の双方が造形材料Mを溶融するために主として用いられる場合と比較して、加工システムSYSの造形精度が向上する。

[0273] 尚、予め加熱された造形面MSに造形材料Mが供給される場合には、造形される造形物のサイズ（典型的には、加工単位領域PUA#2に対応する照

射単位領域MUA#2の移動方向に交差する方向におけるサイズであり、ビード幅と称されるサイズ)は、造形面MSのうちの加工光EL#2によって加熱される被照射領域MSLのサイズに依存する。なぜならば、被照射領域MSLに、造形材料Mが供給され、その後、供給された造形材料Mが被照射領域MSLにおいて固化するからである。このため、被照射領域MSLは、造形物が造形される領域を示しているともみなしてもよい。造形面MSの一部を加工光EL#2で加熱することは、造形物が造形される領域を造形面MS上でマーキングすることと等価であるともみなしてもよい。更に、被照射領域MSLのサイズは、ガルバノミラー2156による加工光EL#2の偏向量に依存する。このため、制御ユニット7は、造形される造形物のサイズが目標サイズと一致するように、ガルバノミラー2156による加工光EL#2の偏向量を制御してもよい。

[0274] 更に、予め加熱された造形面MSに造形材料Mが供給される場合には、予め加熱されていない造形面MSに造形材料Mが供給される場合と比較して、溶融した造形材料Mと造形面MSとの結合力が強くなる。このため、予め加熱された造形面MSに造形材料Mが供給される場合には、予め加熱されていない造形面MSに造形材料Mが供給される場合と比較して、加工システムSYSは、造形面MSと相対的に強く結合した造形物を造形することができる。

[0275] 尚、第1具体例では、ガルバノミラー2156を用いて加工光EL#2が偏向される場合には、ガルバノミラー2156を用いて加工光EL#2が偏向されない場合と比較して、造形面MSのうち加工光EL#2によって加熱される被照射領域MSLの面積が大きくなる。このため、制御ユニット7は、造形面MSのうち加工光EL#2によって加熱すべき領域の大きさ(つまり、想定している被照射領域MSLの大きさ)に基づいて、ガルバノミラー2156を用いて加工光EL#2を偏向するか否かを決定してもよい。

(4-1-2) 加工光EL#1及びEL#2の用途に応じた使い分けの第2具体例

- [0276] 第2具体例では、図24の上部に示すように、加工システムSYSは、材料照射面ESにおいて造形材料Mに加工光EL#1を照射することで、材料照射面ESにおいて、造形材料Mの少なくとも一部を加熱（例えば、予熱）してもよい。更に、第2具体例では、図24に示すように、加工システムSYSは、造形面MSに加工光EL#2を照射することで、造形面MSを加熱（例えば、予熱）してもよい。つまり、加工システムSYSは、造形面MSに加工光EL#2を照射することで、造形面MSのうちの加工光EL#2が照射された被照射領域MSLを加熱（例えば、予熱）してもよい。尚、加工システムSYSは、造形面MSに加工光EL#2を照射することで、造形面MSに熔融池MPを形成してもよいし、形成しなくてもよい。
- [0277] 第2具体例では特に、加工システムSYSは、制御ユニット7の制御下で、材料照射面ESにおいて造形材料Mの少なくとも一部を加熱することで、造形材料Mの温度分布を制御する。具体的には、加工システムSYSは、制御ユニット7の制御下で、材料照射面ESにおいて造形材料Mの少なくとも一部を加熱することで、材料照射面ES内での造形材料Mの温度分布を制御する。
- [0278] 材料照射面ES内での造形材料Mの温度分布を制御するために、制御ユニット7は、材料照射面ES内において加工光EL#1の照射によって単位時間あたりに造形材料Mに加えられる熱量（以降、入熱量と称する）の分布を制御してもよい。典型的には、制御ユニット7は、材料照射面ES内の位置（場所）に応じて、加工光EL#1の照射による造形材料Mへの入熱量を変化させてもよい。例えば、図24の下部に示すように、制御ユニット7は、材料照射面ES内の第1材料通過領域ESP#1における造形材料Mへの入熱量と、第1材料通過領域ESP#2とは異なる材料照射面ES内の第2材料通過領域ESP#2における造形材料Mへの入熱量とが異なるものとなるように、加工光EL#1の照射による造形材料Mへの入熱量を変化させてもよい。
- [0279] 尚、材料照射面ESが仮想的な面であるがゆえに、材料照射面ESに供給

された造形材料Mが材料照射面ESを通過することは、上述したとおりである。この場合、第1材料通過領域ESP#1及び第2材料通過領域ESP#2のそれぞれは、材料照射面ES内において造形材料Mが通過する領域であるとみなしてもよい。このため、以下の説明では、第1材料通過領域ESP#1及び第2材料通過領域ESP#2を、それぞれ、第1材料通過領域ESP#1及び第2材料通過領域ESP#2と称する。

[0280] 制御ユニット7は、材料照射面ES内の一の材料通過領域が照射光学系211の光軸AXから離れるほど、当該一の材料通過領域における造形材料Mへの入熱量が多くなるように、加工光EL#1の照射による造形材料Mへの入熱量を変化させてもよい。例えば、図24の下部に示す例では、材料照射面ES内において、第1材料通過領域ESP#1と光軸AXとの間の距離は、第2材料通過領域ESP#2と光軸AXとの間の距離よりも長い。つまり、第1材料通過領域ESP#1は、第2材料通過領域ESP#2よりも光軸AXから離れた位置に位置している。この場合、制御ユニット7は、材料照射面ES内の第1材料通過領域ESP#1における造形材料Mへの入熱量が、第1材料通過領域ESP#2とは異なる材料照射面ES内の第2材料通過領域ESP#2における造形材料Mへの入熱量よりも多くなるように、加工光EL#1の照射による造形材料Mへの入熱量を変化させてもよい。

[0281] 材料照射面ES内の一の材料通過領域が照射光学系211の光軸AXから離れるほど、当該一の材料通過領域における造形材料Mへの入熱量が多くなる場合には、材料照射面ES内の一の材料通過領域が照射光学系211の光軸AXから離れるほど、当該一の材料通過領域を通過する造形材料Mの温度が高くなる。このため、制御ユニット7は、材料照射面ES内の一の材料通過領域が照射光学系211の光軸AXから離れるほど、当該一の材料通過領域を通過する造形材料Mの温度が高くなるように、加工光EL#1の照射による造形材料Mへの入熱量を変化させてもよい。この場合、図24の下部に示すように、制御ユニット7は、材料照射面ES内の一の材料通過領域が照射光学系211の光軸AXから離れるほど、当該一の材料通過領域を通過す

る造形材料Mの温度が連続的に高くなるように、加工光EL#1の照射による造形材料Mへの入熱量を変化させてもよい。或いは、図24の下部に示すように、制御ユニット7は、材料照射面ES内の一の材料通過領域が照射光学系211の光軸AXから離れるほど、当該一の材料通過領域を通過する造形材料Mの温度が段階的に高くなるように、加工光EL#1の照射による造形材料Mへの入熱量を変化させてもよい。一例として、制御ユニット7は、材料照射面ES内の第1材料通過領域ESP#1を通過する造形材料Mの温度が、第1材料通過領域ESP#2とは異なる材料照射面ES内の第2材料通過領域ESP#2を通過する造形材料Mの温度よりも高くなるように、加工光EL#1の照射による造形材料Mへの入熱量を変化させてもよい。

[0282] 材料照射面ES内の一の材料通過領域が照射光学系211の光軸AXから離れるほど、当該一の材料通過領域を通過する造形材料Mの温度が高くなる状態を実現するために、制御ユニット7は、材料照射面ES内の位置に応じて加工光EL#1の強度を変更してもよい。例えば、制御ユニット7は、材料照射面ES内の第1材料通過領域ESP#1を通過する造形材料Mに照射される加工光EL#1の強度が、材料照射面ES内の第2材料通過領域ESP#2を通過する造形材料Mに照射される加工光EL#1の強度と異なるものとなるように、加工光EL#1の照射による造形材料Mへの入熱量を変化させてもよい。

[0283] 具体的には、制御ユニット7は、材料照射面ES内の一の材料通過領域が照射光学系211の光軸AXから離れるほど、当該一の材料通過領域を通過する造形材料Mに照射される加工光EL#1の強度が高くなるように、加工光EL#1の強度を変更してもよい。例えば、図24の下部に示すように、制御ユニット7は、材料照射面ES内の第1材料通過領域ESP#1を通過する造形材料Mに照射される加工光EL#1の強度が、材料照射面ES内の第2材料通過領域ESP#2を通過する造形材料Mに照射される加工光EL#1の強度よりも高くなるように、加工光EL#1の照射による造形材料Mへの入熱量を変化させてもよい。

[0284] 材料照射面E S内の位置に応じて加工光E L # 1の強度を変更するために、制御ユニット7は、ガルバノミラー2 1 4 6を用いて加工光E L # 1が材料照射面E S内を移動する（つまり、材料照射面E Sを実質的に走査する）ように加工光E L # 1を偏向しながら、加工光E L # 1の強度を変更してもよい。制御ユニット7は、ガルバノミラー2 1 4 6を用いた加工光E L # 1の偏向に同期して、加工光E L # 1の強度を変更してもよい。一例として、制御ユニット7は、材料照射面E S内の第1材料通過領域E S P # 1を通過する造形材料Mに加工光E L # 1が照射されるように、ガルバノミラー2 1 4 6を用いて加工光E L # 1を偏向すると共に、加工光E L # 1の強度を、相対的に高い強度に変更してもよい。その後、又は、その前に、制御ユニット7は、材料照射面E S内の第2材料通過領域E S P # 2を通過する造形材料Mに加工光E L # 1が照射されるように、ガルバノミラー2 1 4 6を用いて加工光E L # 1を偏向すると共に、加工光E L # 1の強度を、相対的に低い強度に変更してもよい。

[0285] 材料照射面E Sにおいて加工光E L # 1によって加熱された造形材料M（つまり、温度分布が制御された造形材料M）は、加工光E L # 2によって加熱された造形面M Sに造形材料Mが供給されてもよい。つまり、加工システムS Y Sは、加工光E L # 1によって加熱した（つまり、温度分布を制御下）造形材料Mを、加工光E L # 2によって加熱された造形面M Sに供給してもよい。

[0286] ここで、材料ノズル2 1 2と造形面M Sとの間の材料照射面E S内での造形材料Mの温度分布が制御されているがゆえに、造形面M Sには、Z軸に交差する面内の温度分布が制御された造形材料Mが供給される。つまり、造形面M Sに供給された造形材料Mを示す断面図である図2 5に示すように、造形面M Sには、造形面M S内の一の造形領域が照射光学系2 1 1の光軸A Xから離れるほど、当該一の造形領域に供給される造形材料Mの温度が高くなるという条件を満たす造形材料Mが供給される。この場合、供給された造形材料Mは、造形面M S上で冷却されて固化する。

[0287] ここで、造形面MSを表面に有する物体（図25に示す例では、ワークW）の形状によっては、造形面MS上の第1造形領域BA#1での造形材料Mの冷却態様と、第1造形領域BA#1とは異なる造形面MS上の第2造形領域BA#2での造形材料Mの冷却態様とが異なる可能性がある。例えば、図25に示す例では、第1造形領域BA#1は、第2造形領域BA#2よりもワークWの端に近い位置に位置しており、第2造形領域BA#2は、第1造形領域BA#1よりもワークWの中央に近い位置に位置している。

[0288] この場合、ワークWの端は、ワークWの中心と比較して、造形材料Mが発する熱を放出する経路が多くなることがある。なぜなら、ワークWの中心には、造形材料Mが発する熱を放出する経路として、ワークWの上面が存在する一方で、ワークWの端には、造形材料Mが発する熱を放出する経路として、ワークWの上面のみならずワークWの側面が存在するからである。従って、ワークWの端においては、造形材料Mは冷却されやすく、ワークWの中心においては、造形材料Mが冷却されにくい。

[0289] また、この場合、ワークWの形状やワークWへの予熱状態等によっては、ワークWの端がワークWの中心と比較して、造形材料Mが発する熱を放出する経路が少なくなることもある。このときには、ワークWの中心における熱を放出する経路がワークWの中心からワークWの内部へ向かう下方向や斜め下方向であり、一方、ワークWの端における熱を放出する経路がワークWの端からワークWの斜め下方向で、経路が少なくなる場合もある。

[0290] このため、仮に造形面MSに供給された造形材料Mの造形面MS内での温度分布が制御されていなければ（つまり、造形面MSに供給された造形材料Mが均一な温度分布であれば）、造形面MS上の第1造形領域BA#1において造形材料Mが固化するまでに必要な時間が相対的に長くなり、造形面MS上の第2造形領域BA#2において造形材料Mが固化するまでに必要な時間が相対的に短くなる。このため、造形材料Mが冷却される場合のワークWの熱勾配が相対的に大きくなる。その結果、ワークWのクラックが生ずる可能性がある。

[0291] しかるに、第2具体例では、造形面MSに供給された造形材料Mの造形面MS内での温度分布が制御されている。例えば、造形材料Mが冷却されやすい造形面MS上の第1造形領域BA#1には、温度が相対的に高い造形材料Mが供給され、造形材料Mが冷却されやにくい造形面MS上の第2造形領域BA#2には、温度が相対的に低い造形材料Mが供給される。このため、造形面MS上の第1造形領域BA#1において造形材料Mが固化するまでに必要な時間と、造形面MS上の第2造形領域BA#2において造形材料Mが固化するまでに必要な時間との差分が小さくなる。このため、造形材料Mが冷却される場合のワークWの熱勾配が相対的に小さくなる。その結果、ワークWのクラックが生ずる可能性が低くなる。このように、第2具体例では、ワークW（或いは、造形済みの構造層SL）の上に新たに造形物を造形する場で、ワークW（或いは、造形済みの構造層SL）のクラックが発生する可能性が低くなる。

（4-2）第2造形動作の第2変形例

[0292] 続いて、第2造形動作の第2変形例について説明する。図4（a）から図4（c）及び図13を参照しながら説明したように、第2造形動作を行う加工システムSYSは、材料ノズル212と造形面MSとの間においてZ軸に交差する仮想的な材料照射面ESに、造形材料Mを供給している。更に、図11から図13を参照しながら説明したように、第2造形動作を行う加工システムSYSは、材料照射面ES上で仮想的な照射単位領域MUAを加工光ELが実質的に走査するように、ガルバノミラー2146及び2156を用いて、照射単位領域MUA内で加工光ELが通過するビーム通過領域PAを移動させている。

[0293] この場合、材料照射面ESに供給された造形材料Mの分量に対する、材料照射面ESにおいて加工光ELが実際に照射された造形材料Mの分量の割合が高くなるほど、第2造形動作での造形材料Mの利用効率が高くなる。なぜならば、材料照射面ESにおいて加工光ELが実際に照射された造形材料Mが、第2造形動作による造形物の造形に大きく寄与する一方で、材料照射面

E Sにおいて加工光E Lが照射されていない造形材料Mが、第2造形動作による造形物の造形に寄与しない又はあまり寄与しないからである。

[0294] 尚、材料照射面E Sに供給された造形材料Mの分量に対する、材料照射面E Sにおいて加工光E Lが実際に照射された造形材料Mの分量の割合は、材料照射面E Sにおいて加工光E Lが造形材料Mに実際に照射される確率（つまり、材料照射面E Sにおいて加工光E Lと造形材料Mとが干渉する確率）と等価であるがゆえに、当該割合を、以降の説明では、“干渉確率”と称する。材料照射面E Sに供給された造形材料Mの全てに加工光E Lが照射された場合には、干渉確率は、100%となる。材料照射面E Sに供給された造形材料Mの全てに加工光E Lが照射されなかった場合には、干渉確率は、0%となる。材料照射面E Sに供給された造形材料MのN（尚、Nは、0以上且つ100よりも小さい数を示す変数である）%に加工光E Lが照射された場合には、干渉確率は、N%となる。尚、干渉確率を照射確率と称してもよい。

[0295] しかしながら、材料照射面E Sに対する造形材料Mの供給態様と材料照射面E Sに対する加工光E Lの照射態様との関係によって、干渉確率が極端に低くなってしまう可能性がある。例えば、図26(a)は、材料照射面E S上において、環状の形状を有する材料供給領域M S Aに造形材料Mが供給され、且つ、材料照射面E S上に設定される照射単位領域M U A内において、ビーム通過領域P A（つまり、加工光E L）が、直線状の移動軌跡に沿って往復移動する例を示している。図26(a)に示す例では、環状の形状を有する材料供給領域M S Aのうちビーム通過領域P Aの移動軌跡と交差する二か所だけで、造形材料Mに加工光E Lが照射される。その結果、干渉確率は相対的に低くなる。一方で、図26(b)は、材料照射面E S上において、環状の形状を有する材料供給領域M S Aに造形材料Mが供給され、且つ、材料照射面E S上に設定される照射単位領域M U A内において、ビーム通過領域P A（つまり、加工光E L）が、環状の移動軌跡を回転移動する例を示している。図26(b)に示す例では、環状の形状を有する材料供給領域M S

Aに沿ってビーム通過領域PAが移動可能であるため、相対的に多くの造形材料Mに加工光ELが照射される。その結果、干渉確率は相対的に高くなる。

[0296] 尚、干渉確率は、材料照射面ES上においてビーム通過領域PAが移動する移動範囲であるビーム照射領域が、材料照射面ES上において造形材料Mが供給される材料供給領域MSAに対して占める割合と等価であるとみなしてもよい。ビーム照射領域が材料供給領域MSAに対して占める割合は、材料照射面ES上でのビーム照射領域の面積の、材料照射面ES上での材料供給領域MSAの面積に対する割合と等価であるとみなしてもよい。干渉確率は、材料供給領域MSAに対する、材料供給領域MSA内でビーム照射領域が占める割合と等価であるとみなしてもよい。材料供給領域MSAに対する、材料供給領域MSA内でビーム照射領域が占める割合は、材料照射面ES上での材料供給領域MSAの面積に対する、材料供給領域MSA内でビーム照射領域が占める面積の割合と等価であるとみなしてもよい。

[0297] このため、第2変形例では、加工システムSYSは、制御ユニット7の制御下で、干渉確率が極端に低くならないように干渉確率を高めるための動作を行ってもよい。具体的には、制御ユニット7は、干渉確率が極端に低くならないという干渉確率条件を満たすように、造形材料Mの供給態様に基づいて、加工光ELの照射態様を制御（典型的には、変更）してもよい。言い換えれば、制御ユニット7は、干渉確率条件を満たすように、造形材料Mの供給態様に基づいて、加工光ELを制御（典型的には、変更）してもよい。言い換えれば、制御ユニット7は、干渉確率条件を満たすように、造形材料Mの供給態様に基づいて、加工光ELの照射を制御（典型的には、変更）してもよい。

[0298] 特に、制御ユニット7は、干渉確率条件を満たすように、材料照射面ESにおける造形材料Mの供給態様に基づいて、材料照射面ESにおける加工光ELの照射態様を制御してもよい。言い換えれば、制御ユニット7は、干渉確率条件を満たすように、材料照射面ESにおける造形材料Mの供給態様に

基づいて、材料照射面 E S における加工光 E L を制御してもよい。言い換えれば、制御ユニット 7 は、干渉確率条件を満たすように、材料照射面 E S における造形材料 M の供給態様に基づいて、材料照射面 E S における加工光 E L の照射を制御してもよい。

[0299] 干渉確率条件は、干渉確率が下限閾値を超えるという条件を含んでもよい。干渉確率条件は、加工光 E L の照射態様の制御によって干渉確率が改善するという条件を含んでもよい。干渉確率条件は、加工光 E L の照射態様を制御する前の干渉確率と比較して、加工光 E L の照射態様を制御した後の干渉確率が高くなるという条件を含んでもよい。

[0300] 以下、干渉確率条件を満たすように造形材料 M の供給態様に基づいて加工光 E L の照射態様を制御する動作であるビーム照射制御動作の具体例について説明する。

(4-2-1) ビーム制御動作の第 1 具体例

[0301] 第 1 具体例では、制御ユニット 7 は、干渉確率条件を満たすように、材料供給領域 M S A の形状及びサイズの少なくとも一つに基づいて、材料照射面 E S 内でのビーム通過領域 P A の移動軌跡を制御してもよい。尚、材料供給領域 M S A の形状及びサイズのそれぞれは、造形材料 M の供給態様の一例である。また、材料照射面 E S 内でのビーム通過領域 P A の移動軌跡は、加工光 E L の照射態様の一例である。また、ビーム通過領域 P A は、材料照射面 E S 内に設定される仮想的な照射単位領域 M U A 内を移動するため、材料照射面 E S 内でのビーム通過領域 P A の移動軌跡は、照射単位領域 M U A 内でのビーム通過領域 P A の移動軌跡と等価であるとみなしてもよい。

[0302] 一例として、図 27 (a) 及び図 27 (b) に示すように、制御ユニット 7 は、材料供給領域 M S A の形状に基づいて、材料照射面 E S 内でのビーム通過領域 P A の移動軌跡の形状が、材料供給領域 M S A の形状に応じて定まる形状となるように、材料照射面 E S 内でのビーム通過領域 P A の移動軌跡を制御してもよい。

[0303] 例えば、図 27 (a) は、材料照射面 E S 上において、材料供給領域 M S

Aの形状が環状の形状となる例を示している。この場合、図27(a)に示すように、制御ユニット7は、材料照射面ES内でのビーム通過領域PAの移動軌跡の形状が、材料供給領域MSAの形状に応じて定まる環状の形状となるように、材料照射面ES内でのビーム通過領域PAの移動軌跡を制御してもよい。但し、干渉確率条件を満たす限りは、材料供給領域MSAの形状が環状の形状となる場合のビーム通過領域PAの移動軌跡の形状が、図27(a)に示す形状に限定されることはない。

[0304] 例えば、図27(b)は、材料照射面ES上において、材料供給領域MSAの形状が円形となる例を示している。この場合、図27(b)に示すように、制御ユニット7は、材料照射面ES内でのビーム通過領域PAの移動軌跡の形状が、材料供給領域MSAの形状に応じて定まるリサージュ曲線の少なくとも一部を含む形状となるように、材料照射面ES内でのビーム通過領域PAの移動軌跡を制御してもよい。但し、干渉確率条件を満たす限りは、材料供給領域MSAの形状が円形となる場合のビーム通過領域PAの移動軌跡の形状が、図27(b)に示す形状に限定されることはない。

[0305] 尚、ビーム通過領域PAの移動軌跡がリサージュ曲線の少なくとも一部を含む場合には、ビーム通過領域PAの移動軌跡がリサージュ曲線を含まない場合と比較して、ビーム通過領域PAが移動する移動範囲の面積が大きくなる可能性が高くなる。このため、制御ユニット7は、材料照射面ES内でのビーム通過領域PAの移動軌跡の形状が、任意のリサージュ曲線の少なくとも一部を含む形状となるように、材料照射面ES内でのビーム通過領域PAの移動軌跡を制御してもよい。

[0306] 他の一例として、図28(a)及び図28(b)に示すように、制御ユニット7は、材料供給領域MSAのサイズに基づいて、材料照射面ES内でのビーム通過領域PAの移動軌跡のサイズが、材料供給領域MSAのサイズに応じて定まるサイズとなるように、材料照射面ES内でのビーム通過領域PAの移動軌跡を制御してもよい。尚、材料照射面ES内でのビーム通過領域PAの移動軌跡のサイズは、材料照射面ES上においてビーム通過領域PA

が移動する移動範囲であるビーム照射領域のサイズと等価であるとみなしてもよい。材料照射面 E S 内でのビーム通過領域 P A の移動軌跡のサイズは、材料照射面 E S 上においてビーム通過領域 P A が移動する移動範囲を包含する照射単位領域 M U A のサイズと等価であるとみなしてもよい。

[0307] 例えば、図 28 (a) は、材料照射面 E S 上において、材料供給領域 M S A のサイズが相対的に大きくなる例を示している。この場合、図 28 (a) に示すように、制御ユニット 7 は、材料照射面 E S 内でのビーム通過領域 P A の移動軌跡のサイズが、材料供給領域 M S A のサイズに応じて定まる相対的に大きいサイズとなるように、材料照射面 E S 内でのビーム通過領域 P A の移動軌跡を制御してもよい。

[0308] 例えば、図 28 (b) は、材料照射面 E S 上において、材料供給領域 M S A のサイズが相対的に小さくなる例を示している。この場合、図 28 (b) に示すように、制御ユニット 7 は、材料照射面 E S 内でのビーム通過領域 P A の移動軌跡のサイズが、材料供給領域 M S A のサイズに応じて定まる相対的に小さいサイズとなるように、材料照射面 E S 内でのビーム通過領域 P A の移動軌跡を制御してもよい。

[0309] 制御ユニット 7 は、ガルバノミラー 2 1 4 6 及び 2 1 5 6 の少なくとも一方を制御することで、材料照射面 E S 内でのビーム通過領域 P A の移動軌跡を制御してもよい。例えば、制御ユニット 7 は、材料照射面 E S 内でのビーム通過領域 P A の移動軌跡が所望の移動軌跡となるように、ガルバノミラー 2 1 4 6 及び 2 1 5 6 の少なくとも一方を制御してもよい。

[0310] 或いは、制御ユニット 7 は、ガルバノミラー 2 1 4 6 及び 2 1 5 6 の少なくとも一方を制御することでビーム通過領域 P A の移動軌跡を直接的に制御することに代えて（或いは、加えて）、光源 4 を制御することで、ビーム通過領域 P A の移動軌跡を実質的に制御してもよい。具体的には、図 29 (a) 及び図 29 (b) に示すように、制御ユニット 7 は、ガルバノミラー 2 1 4 6 及び 2 1 5 6 の少なくとも一方を用いてビーム通過領域 P A の移動軌跡を変更することなく、加工光 E L を射出するタイミングを制御する（逆に言

例えば、加工光ELを射出しないタイミングを制御する) ように光源4を制御することで、ビーム通過領域PAの移動軌跡を実質的に制御してもよい。この場合、ビーム通過領域PAの実質的な移動軌跡は、材料照射面ES内において加工光ELが射出されたタイミングで加工光ELが実際に通過した位置を結ぶ軌跡と等価である。つまり、ビーム通過領域PAの実質的な移動軌跡は、材料照射面ES内において加工光ELが射出されたタイミングでビーム通過領域PAが位置していた位置を結ぶ軌跡と等価である。図29(a)に示す例では、ビーム通過領域PAの実質的な移動軌跡は、図29(a)に示す黒丸を結ぶことで得られる環状の軌跡となる。図29(b)に示す例では、ビーム通過領域PAの実質的な移動軌跡は、図29(b)に示す黒丸を結ぶことで得られるリサージュ波形の少なくとも一部を含む軌跡となる。

[0311] 或いは、制御ユニット7は、ガルバノミラー2146及び2156の少なくとも一方を用いてビーム通過領域PAの移動軌跡を変更することなく、加工光ELの強度を、造形材料Mを溶融可能な強度と造形材料Mを溶融不可能な強度との間で切り替えるように光源4を制御することで、ビーム通過領域PAの移動軌跡を実質的に制御してもよい。この場合、ビーム通過領域PAの実質的な移動軌跡は、材料照射面ES内において造形材料Mを溶融可能な強度を有する加工光ELが射出されたタイミングで加工光ELが実際に通過した位置を結ぶ軌跡と等価である。つまり、ビーム通過領域PAの実質的な移動軌跡は、材料照射面ES内において造形材料Mを溶融可能な強度を有する加工光ELが射出されたタイミングでビーム通過領域PAが位置していた位置を結ぶ軌跡と等価である。

(4-2-2) ビーム制御動作の第2具体例

[0312] 第2具体例では、制御ユニット7は、図30に示すように、加工ヘッド21が射出する加工光ELの数 n と、材料照射面ES内でのビーム通過領域PAのサイズ S と、材料照射面ES内でのビーム通過領域PAの移動速度 V とが、干渉確率条件に応じて定まる所定の条件を満たすように、加工光ELの数 n 、ビーム通過領域PAのサイズ S 及びビーム通過領域PAの移動速度 V

の少なくとも一つを制御（典型的には、変更）してもよい。つまり、制御ユニット7は、干渉確率条件を満たすように、加工光ELの数 n 、ビーム通過領域PAのサイズ S 及びビーム通過領域PAの移動速度 V の少なくとも一つを制御（典型的には、変更）してもよい。

[0313] 尚、加工光ELの数 n 、ビーム通過領域PAのサイズ S 及びビーム通過領域PAの移動速度 V のそれぞれは、加工光ELの照射態様の一例である。ビーム通過領域PAのサイズ S は、材料照射面ESを通過する加工光ELの材料照射面ESに沿った断面のサイズと等価である。尚、ビーム通過領域PAは、材料照射面ES上での加工光ELの強度が、材料照射面ES上での加工光ELの強度の最大値に対して $1/n$ （尚、 n は所定の定数）倍となる位置をつなぐ線が外縁（言い換えれば、境界）となる領域であってもよい。定数 n は、 (e^2) （尚、 e は、ネイピア数）であってもよいし、2であってもよいし、その他の値であってもよい。尚、ビーム通過領域PAは、スポット（具体的には、材料照射面ES内での加工光ELのスポット）と称されてもよい。ビーム通過領域PAの移動速度 V は、材料照射面ES内でビーム通過領域PAを移動させるガルバノミラー2146及び2156の駆動速度と等価であるとみなしてもよい。

[0314] 加工光ELの数 n 、ビーム通過領域PAのサイズ S 及びビーム通過領域PAの移動速度 V が満たすべき条件の一例として、加工光ELの数 n と、ビーム通過領域PAのサイズ S とビーム通過領域PAの移動速度 V とを掛け合わせることで得られるパラメータ（つまり、 $n \times s \times V$ ）が、所定の定数 K を上回るという条件が用いられてもよい。この場合、制御ユニット7は、パラメータ（ $n \times s \times V$ ）が所定の定数 K を上回るように、加工光ELの数 n 、ビーム通過領域PAのサイズ S 及びビーム通過領域PAの移動速度 V の少なくとも一つを制御（典型的には、変更）してもよい。

[0315] 所定の定数 K は、造形材料Mの供給態様に応じて定まる定数であってもよい。例えば、所定の定数 K は、造形材料Mの供給態様の一例である材料供給領域MSAのサイズに応じて定まる定数であってもよい。一例として、所定

の定数 K は、材料供給領域 MSA のサイズが大きくなるほど大きくなる定数であってもよい。尚、所定の定数 K が造形材料 M の供給態様に応じて定まるがゆえに、加工光 EL の数 n 、ビーム通過領域 PA のサイズ S 及びビーム通過領域 PA の移動速度 V が所定の条件を満たすように、加工光 EL の数 n 、ビーム通過領域 PA のサイズ S 及びビーム通過領域 PA の移動速度 V の少なくとも一つを制御ビーム制御動作の第2具体例は、造形材料 M の供給態様に基づいて、加工光 EL の照射態様を制御する動作の一例であると言える。

[0316] ここで、ビーム通過領域 PA のサイズ S 及びビーム通過領域 PA の移動速度 V が固定されている状況下では、加工光 EL の数 n が多くなるほど、干渉確率が高くなる。更に、加工光 EL の数 n が多くなるほど、パラメータ $(n \times s \times V)$ が大きくなり、パラメータ $(n \times s \times V)$ が所定の定数 K を上回る可能性が高くなる。このため、制御ユニット7は、パラメータ $(n \times s \times V)$ が所定の定数 K を上回るように加工光 EL の数 n を制御することで、干渉確率を高めることができる。

[0317] 同様に、加工光 EL の数 n 及びビーム通過領域 PA の移動速度 V が固定されている状況下では、ビーム通過領域 PA のサイズ S が大きくなるほど、干渉確率が高くなる。更に、ビーム通過領域 PA のサイズ S が多くなるほど、パラメータ $(n \times s \times V)$ が大きくなり、パラメータ $(n \times s \times V)$ が所定の定数 K を上回る可能性が高くなる。このため、制御ユニット7は、パラメータ $(n \times s \times V)$ が所定の定数 K を上回るようにビーム通過領域 PA のサイズ S を制御することで、干渉確率を高めることができる。

[0318] 同様に、加工光 EL の数 n 及びビーム通過領域 PA のサイズ S が固定されている状況下では、ビーム通過領域 PA の移動速度 V が速くなるほど、干渉確率が高くなる。更に、ビーム通過領域 PA の移動速度 V が速くなるほど、パラメータ $(n \times s \times V)$ が大きくなり、パラメータ $(n \times s \times V)$ が所定の定数 K を上回る可能性が高くなる。このため、制御ユニット7は、パラメータ $(n \times s \times V)$ が所定の定数 K を上回るようにビーム通過領域 PA の移動速度 V を制御することで、干渉確率を高めることができる。

[0319] 尚、ビーム制御動作の第1具体例及びビーム制御動作の第2具体例は、いずれも、造形材料Mの供給態様に基づいて、照射光学系211から射出される加工光ELのビーム経路を制御する動作であるとみなしてもよい。ここで、第2変形例におけるビーム経路は、加工光ELがガルバノミラー2146又は2156によって偏向される場合には、ガルバノミラー2146又は2156によって偏向される加工光ELが通過する三次元空間を意味してもよい。第2変形例におけるビーム経路は、加工光ELがガルバノミラー2146又は2156によって偏向されない場合には、ガルバノミラー2146又は2156によって偏向されていない加工光ELが通過する三次元空間を意味してもよい。ガルバノミラー2146又は2156によって偏向されていない加工光ELが通過する三次元空間は、実質的には、加工光ELの外形で定まる三次元空間と等価であるとみなしてもよい。加工光ELの外形は、Z軸に交差する複数の材料供給面PLのそれぞれでの加工光ELが通過する領域を結ぶことで得られる外形と等価であってもよい。各材料供給面PLで加工光ELが通過する領域は、各材料供給面PL上での加工光ELの強度が、各材料供給面PL上での加工光ELの強度の最大値に対して $1/n$ （尚、 n は所定の定数）倍となる位置をつなぐ線が外縁（言い換えれば、境界）となる領域であってもよい。定数 n は、 (e^2) （尚、 e は、ネイピア数）であってもよいし、2であってもよいし、その他の値であってもよい。

[0320] 第1具体例で説明したように、材料照射面ES内でのビーム通過領域PAの移動軌跡を変更すると、上述したビーム経路が変わる。同様に、第2具体例で説明したように、加工光ELの数 n 、ビーム通過領域PAのサイズS及びビーム通過領域PAの移動速度Vの少なくとも一つを変更すると、上述したビーム経路が変わる。このため、上述したように、ビーム制御動作の第1具体例及びビーム制御動作の第2具体例は、いずれも、造形材料Mの供給態様に基づいて、照射光学系211からの加工光ELのビーム経路を制御する動作であるとみなしてもよい。

(4-3) 第2造形動作の第3変形例

[0321] 続いて、第2造形動作の第3変形例について説明する。第2造形動作を行う加工システムS Y Sは、材料照射面E S（つまり、材料ノズル212と造形面M Sとの間の空間）において、造形材料Mに加工光E Lを照射することで、造形材料Mを溶融させている。ここで、加工光E Lの照射によって造形材料Mが溶融する場合には、加工光E Lの照射によって造形材料Mの一部が蒸発する可能性がある。この場合、溶融した造形材料Mには、蒸発に起因して発生する反跳力（蒸発反跳力）が発生する。その結果、図31に示すように、反跳力に起因して、造形材料Mの材料供給方向は、加工光E Lが造形材料Mに照射される前の材料供給方向である第1材料供給方向から、加工光E Lが造形材料Mに照射された後の材料供給方向である第2材料供給方向へと変わる。

[0322] そこで、第3変形例では、加工システムS Y Sは、制御ユニット7の制御下で、反跳力を利用して、造形材料Mの材料供給方向を制御してもよい。加工システムS Y Sは、制御ユニット7の制御下で、造形材料Mに加工光E Lを照射して反跳力を発生させ、発生した反跳力を利用して、造形材料Mの材料供給方向を制御してもよい。具体的には、制御ユニット7は、反跳力を利用して、造形材料Mの材料供給方向を、加工光E Lが造形材料Mに照射される前の材料供給方向である第1材料供給方向から、加工光E Lが造形材料Mに照射された後の材料供給方向である第2材料供給方向へと変わる。第2材料供給方向は、典型的には、第1材料供給方向とは異なる。この場合、反跳力を利用して造形材料Mの材料供給方向が制御されない場合と比較して、加工システムS Y Sは、造形材料Mの材料供給方向を、柔軟に制御することができる。

[0323] 制御ユニット7は、ガルバノミラー2146又は2156を用いて加工光E Lを偏向することで、所望の造形材料Mに加工光E Lを照射し、所望の造形材料Mの材料供給方向を変更してもよい。つまり、制御ユニット7は、ガルバノミラー2146又は2156を用いて加工光E Lを偏向することで、

加工光E Lのビーム経路（第2変形例参照）を、所望の造形材料Mの材料供給方向を変更可能な経路に設定した上で、所望の造形材料Mに加工光E Lを照射し、所望の造形材料Mの材料供給方向を変更してもよい。例えば、制御ユニット7は、ガルバノミラー2146又は2156を用いて加工光E Lを偏向することで、第1の造形材料Mに加工光E Lを照射し、第1の造形材料Mの材料供給方向を変更する一方で、第2の造形材料Mに加工光E Lを照射することなく、第2の造形材料Mの材料供給方向を変更しなくてもよい。

[0324] 制御ユニット7は、材料ノズル212から供給される造形材料Mの材料供給方向に基づいて、造形材料Mの材料供給方向を変更してもよい。具体的には、図32は、材料ノズル212から供給される造形材料Mの材料供給方向から推定される、造形面MSの各位置に供給される造形材料Mの分量（供給量）の分布を示している。尚、ここでの「造形面MSの各位置に供給される造形材料Mの分量（供給量）の分布」は、典型的には、「造形面MSの各位置に単位時間あたりに供給される造形材料Mの分量（供給量）の分布」を意味する。但し、「造形面MSの各位置に供給される造形材料Mの分量（供給量）の分布」は、「造形面MSの各位置にある時刻に供給される造形材料Mの分量（供給量）の分布」を意味していてもよい。図32に示すように、造形材料Mの材料供給方向の変更前には、造形材料Mの分供給量の分布は、造形面MSの一部の領域に供給される造形材料Mの分量（供給量）が、造形面MSの他の一部の領域に供給される造形材料Mの分量（供給量）に比べてずっと多い不均一な分布となっている。制御ユニット7は、材料ノズル212から供給される造形材料Mの材料供給方向に基づいて、造形材料Mの分供給が、目標分布に近づくように、造形材料Mの材料供給方向を変更してもよい。

[0325] 例えば、図32に示すように、制御ユニット7は、造形面MSの一部の領域に供給される造形材料Mの分量（供給量）と造形面MSの他の一部の領域に供給される造形材料Mの分量（供給量）との差分が、造形材料Mの材料供給方向の変更によって小さくなるように、造形材料Mの材料供給方向を変更してもよい。つまり、制御ユニット7は、造形材料Mの材料供給方向を変更

した場合における造形面MSの一部の領域に供給される造形材料Mの分量（供給量）と造形面MSの他の一部の領域に供給される造形材料Mの分量（供給量）との差分が、造形材料Mの材料供給方向を変更しないと仮定した場合における造形面MSの一部の領域に供給される造形材料Mの分量（供給量）と造形面MSの他の一部の領域に供給される造形材料Mの分量（供給量）との差分よりも小さくなるように、造形材料Mの材料供給方向を変更してもよい。その結果、造形面MS上での造形材料Mの供給量のばらつきが抑制される。

（４－４）第２造形動作の第４変形例

[0326] 続いて、第２造形動作の第４変形例について説明する。上述した図２６から図２９を参照しながら説明した第２造形動作の第２変形例では、加工システムSYSは、制御ユニット７の制御下で、干渉確率条件を満たすように、造形材料Mの供給態様に基づいて、加工光ELの照射態様を制御（典型的には、変更）している。一方で、第２造形動作の第４変形例では、加工システムSYSは、制御ユニット７の制御下で、干渉確率条件を満たすように、加工光ELの照射態様に基づいて、造形材料Mの供給態様を制御（典型的には、変更）してもよい。特に、加工システムSYSは、制御ユニット７の制御下で、干渉確率条件を満たすように、材料照射面ESにおける加工光ELの照射態様に基づいて、材料照射面ESにおける造形材料Mの供給態様を制御（典型的には、変更）してもよい。

以下、材料照射面ESにおける加工光ELの照射態様に基づいて、材料照射面ESにおける造形材料Mの供給態様を制御する動作の具体例について説明する。

（４－４－１）加工光ELの照射態様に基づいて造形材料Mの供給態様を制御する動作の具体例

[0327] 制御ユニット７は、干渉確率条件を満たすように、材料照射面ES内でのビーム通過領域PAの移動軌跡のサイズに基づいて、材料照射面ES内での材料供給領域MSAのサイズを制御（典型的には、変更）してもよい。尚、

材料供給領域MSAのサイズは、造形材料Mの供給態様の一例である。以下の説明では、材料供給領域MSAのサイズを、“MSA__size”という参照符号を用いて表す。また、材料照射面ES内でのビーム通過領域PAの移動軌跡のサイズは、加工光ELの照射態様の一例である。上述したように、材料照射面ES内でのビーム通過領域PAの移動軌跡のサイズは、材料照射面ES上においてビーム通過領域PAが移動する移動範囲であるビーム照射領域のサイズと等価であるとみなしてもよい。上述したように、材料照射面ES内でのビーム通過領域PAの移動軌跡のサイズは、材料照射面ES上においてビーム通過領域PAが移動する移動範囲を包含する照射単位領域MUAのサイズと等価であるとみなしてもよい。以下の説明では、材料照射面ES内でのビーム通過領域PAの移動軌跡のサイズとして、照射単位領域MUAのサイズが用いられる例について説明する。以下の説明では、照射単位領域MUAのサイズを、“MUA__size”という参照符号を用いて表す。照射単位領域MUAのサイズMUA__sizeは、照射単位領域MUAの幅（つまり、一の方向に沿った長さ）を含んでいてもよい。同様に、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeは、材料供給領域MSAの幅（つまり、一の方向に沿った長さ）を含んでいてもよい。

[0328] 具体的には、材料供給領域MSAと照射単位領域MUAとの関係を示す断面図である図33(a)及び材料供給領域MSAと照射単位領域MUAとの関係を示す平面図である図33(b)に示すように、制御ユニット7は、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeと照射単位領域MUAのサイズMUA__sizeとが一致するように、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを制御してもよい。この場合、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeと照射単位領域MUAのサイズMUA__sizeとが一致するがゆえに、干渉確率が高くなる。

[0329] 尚、「材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeと照射単位領域MUAのサイズMUA__sizeとが一致する」状態は、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeと照射単位領域MUAのサイズMUA__sizeと

が完全に一致する状態を含んでいてもよい。「材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeと照射単位領域MUAのサイズMUA__sizeとが一致する」状態は、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeと照射単位領域MUAのサイズMUA__sizeとが完全に一致していないものの、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeと照射単位領域MUAのサイズMUA__sizeとの差分が、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeと照射単位領域MUAのサイズMUA__sizeとが実質的に一致しているとみなすことができるほどに小さい状態を含んでいてもよい。例えば、「材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeと照射単位領域MUAのサイズMUA__sizeとが一致する」状態は、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeと照射単位領域MUAのサイズMUA__sizeとの差分が、所定の許容条件値以下となる状態を含んでいてもよい。

[0330] 或いは、材料供給領域MSAと照射単位領域MUAとの関係を示す断面図である図34に示すように、制御ユニット7は、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeと照射単位領域MUAのサイズMUA__sizeとの差分が、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeの制御（変更）によって小さくなるように、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを制御してもよい。つまり、制御ユニット7は、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを変更した場合における材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeと照射単位領域MUAのサイズMUA__sizeとの差分が、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを変更しないと仮定した場合における材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeと照射単位領域MUAのサイズMUA__sizeとの差分よりも小さくなるように、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを制御（変更）してもよい。その結果、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeの制御（変更）によって干渉確率が高くなる。

(4-4-2) 材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeの制御方法の具体例

(4-4-2-1) 材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeの制御方法の第1具体例

- [0331] 制御ユニット7は、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを制御するために、ノズル駆動系23を制御してもよい。具体的には、図35に示すように、制御ユニット7は、ノズル駆動系23を制御して材料ノズル212をZ軸方向に沿って移動させることで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを制御してもよい。
- [0332] 例えば、図35に示すように、制御ユニット7は、材料ノズル212をZ軸方向に沿って+Z側に向かって（つまり、上方に向かって）移動させることで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを小さくしてもよい。つまり、制御ユニット7は、Z軸方向に沿って材料ノズル212が材料照射面ESから遠ざかるように材料ノズル212を移動させることで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを小さくしてもよい。制御ユニット7は、Z軸方向に沿って材料ノズル212が造形面MSから遠ざかるように材料ノズル212を移動させることで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを小さくしてもよい。
- [0333] 例えば、図35に示すように、制御ユニット7は、材料ノズル212をZ軸方向に沿って-Z側に向かって（つまり、下方に向かって）移動させることで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを大きくしてもよい。つまり、制御ユニット7は、Z軸方向に沿って材料ノズル212が材料照射面ESに近づくように材料ノズル212を移動させることで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを大きくしてもよい。制御ユニット7は、Z軸方向に沿って材料ノズル212が造形面MSに近づくように材料ノズル212を移動させることで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを大きくしてもよい。
- [0334] 尚、材料ノズル212がZ軸方向に沿って移動すると、Z軸方向に沿った材料照射面ES及び造形面MSのそれぞれと材料ノズル212との間の距離が変わる。このため、材料ノズル212をZ軸方向に沿って移動させること

で材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを制御する動作は、Z軸方向に沿った材料照射面ES及び造形面MSのそれぞれと材料ノズル212との間の距離を変更することで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを制御する動作と等価であるとみなしてもよい。

[0335] Z軸方向に沿って材料ノズル212を移動させる場合には、図36(a)及び図36(b)に示すように、加工システムSYSは、Z軸方向に沿った材料ノズル212と造形面MSとの間の距離を計測する計測装置83を備えていてもよい。例えば、図36(a)に示すように、加工システムSYSは、計測装置83として、材料ノズル212と造形面MSとの間の距離を計測するために造形面MSの存在に起因した静電容量の変化を検出する静電容量センサ83aを備えていてもよい。例えば、図36(b)に示すように、加工システムSYSは、計測装置83として、材料ノズル212と造形面MSとの間の距離を計測するために造形面MSからの戻り光を検出する光学センサ83bを備えていてもよい。光学センサ83bの一例として、カメラがあげられる。光学センサ83bの一例として、TOF(Time Of Flight)センサ等の距離計があげられる。尚、図36(b)に示す例では、光学センサ83bは、照射光学系211を介して戻り光を受光しているが、照射光学系211を介することなく戻り光を受光してもよい。

[0336] 加工システムSYSが計測装置83を備えている場合には、制御ユニット7は、計測装置83の計測結果に基づいて、Z軸方向に沿った材料ノズル212と造形面MSとの間の距離を算出し、算出した距離が目標距離となるように、材料ノズル212を移動させてもよい。一例として、制御ユニット7は、Z軸方向に沿った材料ノズル212と造形面MSとの間の距離と、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeとの関係を示すテーブルを参照しながら、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを目標サイズにするために必要な目標距離を算出し、Z軸方向に沿った材料ノズル212と造形面MSとの間の距離が目標サイズとなるように、材料ノズル212を移動させてもよい。

[0337] 尚、ワークWがステージ31に載置されているがゆえに、ワークWとステージ31との間の位置関係（特に、Z軸方向における位置関係）は、制御ユニット7にとって既知の情報である。その結果、ワークWの上面に設定される又はワークW上に形成される構造層SLの上面に設定される造形面MSとステージ31との位置関係（特に、Z軸方向における位置関係）もまた、制御ユニット7にとって既知の情報である。このため、計測装置83は、Z軸方向に沿った材料ノズル212とステージ31との間の距離を計測してもよい。この場合、制御ユニット7は、計測装置83の計測結果と、制御ユニット77にとって既知の情報であるワークWとステージ31との間の位置関係に関する情報とに基づいて、Z軸方向に沿った材料ノズル212と造形面MSとの間の距離を計測してもよい。

（4-4-2-2）材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを制御する方法の第2具体例

[0338] 制御ユニット7は、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを制御するために、材料ノズル212から供給される造形材料Mの供給経路に対して気体を供給可能な（典型的には、吹き付け可能な）気体ノズル218を制御してもよい。尚、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを制御するために用いられる気体ノズル218は、上述した図16を参照しながら説明した材料制御点MCPの位置を制御するために用いられる気体ノズル217と同一であってもよいし、異なってもよい。

[0339] 具体的には、図37に示すように、制御ユニット7は、気体ノズル218からの気体の供給のON/OFFを制御して材料ノズル212からの造形材料Mの材料供給方向を変更することで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを制御（典型的には、変更）してもよい。

[0340] 例えば、図37に示すように、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeが相対的に大きい第1サイズ（図37の上部に示すサイズ）となっている状況下で、制御ユニット7は、気体を供給するように気体ノズル217を制御することで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを相対的に

小さい第2サイズ（図37の下部に示すサイズ）に変更してもよい。或いは、図示しないものの、例えば、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeが相対的に大きい第1サイズ（図37の上部に示すサイズ）となっている状況下で、制御ユニット7は、気体の供給を停止するように気体ノズル217を制御することで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを相対的に小さい第2サイズ（図37の下部に示すサイズ）に変更してもよい。

[0341] 例えば、図37に示すように、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeが相対的に小さい第2サイズ（図37の下部に示すサイズ）となっている状況下で、制御ユニット7は、気体の供給を停止するように気体ノズル217を制御することで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを相対的に大きい第1サイズ（図37の上部に示すサイズ）に変更してもよい。或いは、図示しないものの、例えば、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeが相対的に小さい第2サイズ（図37の下部に示すサイズ）となっている状況下で、制御ユニット7は、気体を供給するように気体ノズル217を制御することで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを相対的に大きい第1サイズ（図37の上部に示すサイズ）に変更してもよい。

[0342] 或いは、制御ユニット7は、気体ノズル218からの気体の供給のON/OFFを制御することに加えて又は代えて、気体ノズル217からの気体の供給方向を制御して材料ノズル212からの造形材料Mの材料供給方向を変更することで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを制御（典型的には、変更）してもよい。

[0343] 例えば、図37に示すように、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeが相対的に大きい第1サイズ（図37の上部に示すサイズ）となっている状況下で、制御ユニット7は、気体の供給方向を変えるように気体ノズル217を制御することで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを相対的に小さい第2サイズ（図37の下部に示すサイズ）に変更してもよい。或いは、図示しないものの、例えば、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeが相対的に大きい第1サイズ（図37の上部に示すサイズ）とな

っている状況下で、制御ユニット7は、気体の供給方向を変えるように気体ノズル217を制御することで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを相対的に小さい第2サイズ（図37の下部に示すサイズ）に変更してもよい。

[0344] 例えば、図37に示すように、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeが相対的に小さい第2サイズ（図37の下部に示すサイズ）となっている状況下で、制御ユニット7は、気体の供給方向を変えるように気体ノズル217を制御することで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを相対的に大きい第1サイズ（図37の上部に示すサイズ）に変更してもよい。或いは、図示しないものの、例えば、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeが相対的に小さい第2サイズ（図37の下部に示すサイズ）となっている状況下で、制御ユニット7は、気体の供給方向を変えるように気体ノズル217を制御することで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを相対的に大きい第1サイズ（図37の上部に示すサイズ）に変更してもよい。

[0345] 或いは、制御ユニット7は、気体ノズル218からの気体の供給のON/OFF及び気体ノズル217からの気体の供給方向の少なくとも一つを制御することに加えて又は代えて、気体ノズル217からの気体の供給量を制御して材料ノズル212からの造形材料Mの材料供給方向を変更することで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを制御（典型的には、変更）してもよい。

[0346] 例えば、図37に示すように、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeが相対的に大きい第1サイズ（図37の上部に示すサイズ）となっている状況下で、制御ユニット7は、気体の供給量を変えるように気体ノズル217を制御することで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを相対的に小さい第2サイズ（図37の下部に示すサイズ）に変更してもよい。或いは、図示しないものの、例えば、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeが相対的に大きい第1サイズ（図37の上部に示すサイズ）となっ

ている状況下で、制御ユニット7は、気体の供給量を変えるように気体ノズル217を制御することで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを相対的に小さい第2サイズ（図37の下部に示すサイズ）に変更してもよい。

- [0347] 例えば、図37に示すように、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeが相対的に小さい第2サイズ（図37の下部に示すサイズ）となっている状況下で、制御ユニット7は、気体の供給量を変えるように気体ノズル217を制御することで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを相対的に大きい第1サイズ（図37の上部に示すサイズ）に変更してもよい。或いは、図示しないものの、例えば、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeが相対的に小さい第2サイズ（図37の下部に示すサイズ）となっている状況下で、制御ユニット7は、気体の供給量を変えるように気体ノズル217を制御することで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを相対的に大きい第1サイズ（図37の上部に示すサイズ）に変更してもよい。

(4-4-2-2) 材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを制御する方法の第3具体例

制御ユニット7は、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを制御するために、材料ノズル212から供給される造形材料Mの供給量を制御してもよい。

- [0348] 例えば、制御ユニット7は、造形材料Mの供給量を増やすことで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを大きくしてもよい。例えば、制御ユニット7は、造形材料Mの供給量を第1供給量から第1供給量よりも多い第2供給量に変更することで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを、第1供給量に対応する相対的に小さいサイズから、第2供給量に対応する相対的に大きいサイズに変更してもよい。
- [0349] 例えば、制御ユニット7は、造形材料Mの供給量を減らすことで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを小さくしてもよい。例えば、制御

ユニット7は、造形材料Mの供給量を第2供給量から第2供給量よりも少ない第1供給量に変更することで、材料供給領域MSAのサイズMSA__sizeを、第2供給量に対応する相対的に大きいサイズから、第1供給量に対応する相対的に小さいサイズに変更してもよい。

(4-5) 第2造形動作の第5変形例

[0350] 続いて、第2造形動作の第5変形例について説明する。第5変形例では、第2造形動作を行う加工システムSYSは、材料照射面ES（つまり、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間）を撮像することで、画像IMGを生成し、生成した画像IMGに基づいて、第2造形動作を行ってもよい。このため、第2造形動作の第5変形例を行う加工システムSYSは、第2造形動作の第5変形例を行う加工システムSYSの構成を示す断面図である図38に示すように、撮像装置84を備えている。

以下、まずは、撮像装置84について説明した後に、撮像装置84が生成した画像IMGに基づいて行われる動作について説明する。

(4-5-1) 撮像装置84

[0351] 撮像装置84は、材料照射面ESを撮像可能なカメラである。撮像装置84が材料照射面ESを撮像する場合には、撮像装置84のフォーカス位置は、材料照射面ES又はその近傍に合わせられていてもよい。撮像装置84が材料照射面ESを撮像する場合には、撮像装置84の露出は、材料照射面ESを撮像するために適した値に設定されていてもよい。

[0352] 但し、上述したように、材料照射面ESは、上述したように、Z軸に交差する仮想的な面である。つまり、材料照射面ESそのものは、撮像装置84が撮像可能な実体的な物体ではない。このため、材料照射面ESを撮像することは、実質的には、材料照射面ESに存在する物体を撮像することを意味していてもよい。材料照射面ESに存在する物体は、材料照射面ESに供給される物体を含んでいてもよい。材料照射面ESに存在する物体は、材料照射面ESを通過する物体を含んでいてもよい。

[0353] 第5変形例では、材料照射面ESに存在する物体が、少なくとも、材料ノ

ズル212から材料照射面ESに供給された造形材料Mを含む例について説明する。この場合、撮像装置84は、材料照射面ESを撮像することで、材料照射面ESに供給された造形材料Mを撮像してもよい。例えば、撮像装置84は、材料照射面ESを撮像することで、材料照射面ESにおいて加工光ELが照射された造形材料Mを撮像してもよい。例えば、撮像装置84は、材料照射面ESを撮像することで、材料照射面ESにおいて加工光ELが照射されていない造形材料Mを撮像してもよい。例えば、撮像装置84は、材料照射面ESを撮像することで、材料照射面ESにおいて加工光ELの照射によって溶融した造形材料Mを撮像してもよい。例えば、撮像装置84は、材料照射面ESを撮像することで、材料照射面ESにおいて加工光ELの照射によって溶融していない造形材料Mを撮像してもよい。

[0354] 撮像装置84は、撮像装置84が材料照射面MSを撮像可能な任意の位置に配置されていてもよい。例えば、撮像装置84は、撮像装置84が材料照射面MSの直上から材料照射面ESを撮像可能な任意の位置に配置されていてもよい。例えば、撮像装置84は、撮像装置84が材料照射面MSの上方から材料照射面ESを撮像可能な任意の位置に配置されていてもよい。例えば、撮像装置84は、撮像装置84が材料照射面MSの斜め上方から材料照射面ESを撮像可能な任意の位置に配置されていてもよい。例えば、撮像装置84は、撮像装置84が材料照射面MSの側方から材料照射面ESを撮像可能な任意の位置に配置されていてもよい。例えば、撮像装置84は、撮像装置84が材料照射面MSの真横から材料照射面ESを撮像可能な任意の位置に配置されていてもよい。

[0355] 撮像装置84は、加工ヘッド21に配置されていてもよい。一例として、撮像装置84は、加工ヘッド21の筐体の外面に取り付けられていてもよい。尚、撮像装置84は、撮像装置84が加工ヘッド21に着脱可能となるように、加工ヘッド21に配置されていてもよい。或いは、撮像装置84は、撮像装置84が加工ヘッド21に固定されるように、加工ヘッド21に配置されていてもよい。撮像装置84は、撮像装置84が加工ヘッド21と一体

化されるように、加工ヘッド21に配置されていてもよい。撮像装置84が加工ヘッド21に配置されている場合には、撮像装置84は、加工ヘッド21と共に移動可能であってもよい。つまり、ヘッド駆動系22は、加工ヘッド21と共に撮像装置84を移動させてもよい。ヘッド駆動系22は、加工ヘッド21と共に撮像装置84を移動させてもよい。

[0356] 撮像装置84は、加工ヘッド21が備える材料ノズル212に配置されていてもよい。一例として、撮像装置84は、材料ノズル212の外面上に取り付けられていてもよい。尚、撮像装置84は、撮像装置84が材料ノズル212に着脱可能となるように、材料ノズル212に配置されていてもよい。或いは、撮像装置84は、撮像装置84が材料ノズル212に固定されるように、材料ノズル212に配置されていてもよい。撮像装置84は、撮像装置84が材料ノズル212と一体化されるように、材料ノズル212に配置されていてもよい。撮像装置84が材料ノズル212に配置されている場合には、撮像装置84は、材料ノズル212と共に移動可能であってもよい。つまり、ヘッド駆動系22及びノズル駆動系23の少なくとも一つは、材料ノズル212と共に撮像装置84を移動させてもよい。ヘッド駆動系22及びノズル駆動系23の少なくとも一つは、材料ノズル212と共に撮像装置84を移動させてもよい。

[0357] 或いは、撮像装置84は、加工ヘッド21とは異なる支持部材に配置されていてもよい。尚、撮像装置84は、撮像装置84が支持部材に着脱可能となるように、支持部材に配置されていてもよい。或いは、撮像装置84は、撮像装置84が支持部材に固定されるように、支持部材に配置されていてもよい。撮像装置84は、撮像装置84が支持部材と一体化されるように、支持部材に配置されていてもよい。撮像装置84が支持部材に配置されている場合には、加工システムSYSは、撮像装置84を移動させる駆動系を備えていてもよい。この駆動系は、加工ヘッド21の移動及び材料ノズル212の移動の少なくとも一つに同期して、撮像装置84を移動させてもよい。この駆動系は、加工ヘッド21の移動及び材料ノズル212の移動の少なくと

も一つから独立して、撮像装置84を移動させてもよい。

[0358] 加工システムSYSは、図39に示すように、材料照射面ESを照明光ILで照明する照明装置85を更に備えていてもよい。この場合、照明装置85は、材料照射面ESに存在する物体を、照明光ILで照明してもよい。具体的には、照明装置85は、材料照射面ESに供給された造形材料Mを、照明光ILで照明してもよい。但し、材料照射面ESに供給された造形材料Mは、照明光ILで照明されなくてもよい。この場合、加工システムSYSは、照明装置85を備えていなくてもよい。

[0359] 材料照射面ESがZ軸に交差する面であるがゆえに、照明装置85は、材料照射面ESに沿ったシート状の照明光ILで、材料照射面ESを照明してもよい。照明装置85は、材料照射面ESを包含するシート状の照明光ILで、材料照射面ESを照明してもよい。このような照明装置85の一例として、シート光源があげられる。尚、照明装置85は、材料照射面ESと交差する面に沿ったシート状の照明光ILで、材料照射面ESを照明してもよい。このとき、交差する面と材料照射面ESとのなす角度は鋭角であってもよい。

[0360] 撮像装置84は、材料照射面ESに供給された造形材料Mからの光を、撮像装置84が備える撮像素子で受光することで、材料照射面ESに供給された造形材料Mを撮像してもよい。尚、以下の説明では、材料照射面ESに供給された造形材料Mからの光を、“材料光ML”と称する。材料光MLは、造形材料Mによって反射された光を含んでいてもよい。材料光MLは、造形材料Mによって散乱された光を含んでいてもよい。材料光MLは、造形材料Mによって回折された光を含んでいてもよい。材料光MLは、造形材料Mを透過した光を含んでいてもよい。材料光MLは、造形材料Mが発する光を含んでいてもよい。造形材料Mが加工光ELの照射によって溶融している場合には、材料光MLは、造形材料Mが溶融する際に発生する光を含んでいてもよい。造形材料Mが溶融する際に発生する光は、溶融材料光と称されてもよい。造形材料Mが溶融する際に発生する光を含む材料光MLは、溶融材料光

と称されてもよい。

[0361] 材料光MLの光路を示す断面図である図39に示すように、材料光MLの光路の少なくとも一部は、照射光学系211から射出される加工光ELの光路の少なくとも一部と重複していてもよい。例えば、図39に示す例では、加工ヘッド21は、ミラー2192と、ビームスプリッタ2193とを備えている。この場合、照射光学系211から射出された加工光ELは、ビームスプリッタ2193を通過し、ビームスプリッタ2193を通過した加工光ELが、材料照射面ESに供給された造形材料Mに照射されてもよい。つまり、照射光学系211は、光学部材であるビームスプリッタ2193を介して、材料照射面ESに向けて加工光ELを射出してもよい。一方で、造形材料Mからの材料光MLは、ビームスプリッタ2193によって反射され、ビームスプリッタ2193によって反射された材料光MLが、ミラー2192を介して撮像装置84に入射してもよい。つまり、撮像装置84は、加工光ELが通過するビームスプリッタ2193を介して、材料光MLを受光してもよい。この場合、ビームスプリッタ2193と材料照射面ESとの間における加工光ELの光路と、ビームスプリッタ2193と材料照射面ESとの間における材料光MLの光路とが重複している。但し、材料光MLの光路の少なくとも一部は、照射光学系211から射出される加工光ELの光路の少なくとも一部と重複していなくてもよい。

[0362] 尚、図39に示す例では、照射光学系211から射出された（具体的には、 $f\theta$ レンズ2162から射出された）加工光ELが、ビームスプリッタ2193に入射している。つまり、照射光学系211から射出された（具体的には、 $f\theta$ レンズ2162から射出された）加工光ELの光路上に、ビームスプリッタ2193が配置されている。言い換えれば、材料照射面ESと照射光学系211（特に、 $f\theta$ レンズ2162）との間における加工光ELの光路上に、ビームスプリッタ2193が配置されている。しかしながら、ビームスプリッタ2193は、材料照射面ESとビームスプリッタ2193との間における加工光ELの光路上に $f\theta$ レンズ2162（或いは、照射光学

系211の一部)が配置されるように、配置されていてもよい。この場合、ビームスプリッタ2193から射出された加工光ELが、 $f\theta$ レンズ2162に入射し、 $f\theta$ レンズ2162から射出された加工光ELが、材料照射面ESに照射されてもよい。更に、造形材料Mからの材料光MLは、 $f\theta$ レンズ2162を介してビームスプリッタ2193に入射してもよい。

[0363] ここで、照射光学系211から射出される加工光ELは、材料ノズル212から供給される造形材料Mによって少なくとも部分的に囲まれる空間を進行してもよいことは、上述したとおりである。この場合、材料光MLの光路の少なくとも一部が加工光ELの光路の少なくとも一部と重複している場合には、図39に示すように、材料光MLもまた、材料ノズル212から供給される造形材料Mによって少なくとも部分的に囲まれる空間を進行してもよい。例えば、図39に示すように、材料光MLは、材料ノズル212から供給される造形材料Mが外縁となる円錐状の空間を進行してもよい。一例として、材料光MLは、材料供給口2121の第1供給口部分2122(図4(a)から図4(c)参照)から供給される造形材料Mと、材料供給口2121の第2供給口部分2123(図4(a)から図4(c)参照)から供給される造形材料Mとによって挟まれる空間を進行してもよい。この場合、材料ノズル212から供給される造形材料Mによって少なくとも部分的に囲まれる空間の外側の空間を材料光MLが進行する場合と比較して、材料光MLが造形材料Mによって遮光される可能性が低くなる。このため、撮像装置84は、造形材料Mの影響を受けることなく、材料光MLを適切に受光することができる。つまり、撮像装置84は、造形材料Mの影響を受けることなく、材料照射面ESに供給された造形材料Mを適切に撮像することができる。

[0364] 撮像装置84が造形材料Mを撮像する場合には、撮像装置84が生成する画像IMGには、造形材料Mが写り込んでいる。例えば、画像IMGには、材料照射面ESに供給された造形材料Mが写り込んでいてもよい。例えば、画像IMGには、材料照射面ESにおいて加工光ELが照射された造形材料Mが写り込んでいてもよい。例えば、画像IMGには、材料照射面ESにお

いて加工光ELの照射によって溶融した造形材料Mが写り込んでいてもよい。以下の説明では、造形材料Mが写り込んでいる画像IMGを、材料画像IMG_Mと称する。

[0365] 尚、以下の説明では、材料画像IMG_Mに、材料照射面ESにおいて加工光ELの照射によって溶融した造形材料Mが少なくとも写り込んでいる例について説明する。つまり、以下の説明では、撮像装置84が、材料照射面ESにおいて加工光ELの照射によって溶融した造形材料Mを少なくとも撮像する例について説明する。この場合、溶融した造形材料Mが写り込んでいる材料画像IMG_Mは、溶融材料画像と称されてもよい。また、以下の説明では、説明の便宜上、溶融した造形材料Mを、溶融材料MMと称する。

[0366] 撮像装置84が撮像した材料画像IMG_Mは、撮像装置84から制御ユニット7に出力される。制御ユニット7は、撮像装置84から出力された材料画像IMG_Mに基づいて、造形動作（特に、第2造形動作）を行うように、加工システムSYS（特に、加工ユニット2及びステージユニット3の少なくとも一つ）を制御してもよい。例えば、制御ユニット7は、材料画像IMG_Mに基づいて、加工光ELの照射態様（例えば、強度）を制御してもよい。加工光ELの照射態様の制御は、材料照射面ES内での加工光ELの強度、材料照射面ES内での加工光ELの動き、材料照射面ES内での加工光ELの断面形状、材料照射面ES内での加工光ELの断面サイズ、材料照射面ES内での加工光ELの移動速度、及び、材料照射面ES内での加工光ELの移動経路（移動軌跡）のうちの少なくとも一つの制御を含んでもよい。加工光ELの照射態様の制御は、材料照射面ES内の照射単位領域MUAに加工光ELを照射するために用いられるガルバノミラー2146及び2156の少なくとも一つの制御を含んでもよい。ガルバノミラー2146及び2156の少なくとも一つの制御は、ガルバノミラー2146及び2156の少なくとも一つが備える走査ミラー（例えば、X走査ミラー2146MX、Y走査ミラー2146MY、X走査ミラー2156MX及びY走査ミラー2156MYの少なくとも一つ）の制御を含んでもよい。走

査ミラーの制御は、走査ミラーの回転周波数（言い換えれば、揺動周波数）及び走査ミラーの回転速度（言い換えれば、揺動速度）の少なくとも一つの制御を含んでいてもよい。例えば、制御ユニット7は、材料画像IMG_Mに基づいて、加工ヘッド21、材料ノズル212及びステージ32の少なくとも一つの移動態様を制御してもよい。移動態様は、移動速度、移動量、移動方向及び移動タイミングのうちの少なくとも一つを含んでいてもよい。例えば、制御ユニット7は、材料画像IMG_Mに基づいて、材料ノズル212からの造形材料Mの供給態様を制御してもよい。供給態様は、供給速度、供給量、供給方向及び供給タイミングのうちの少なくとも一つを含んでいてもよい。

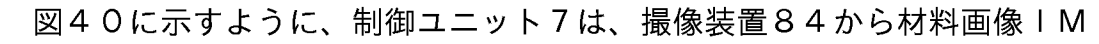
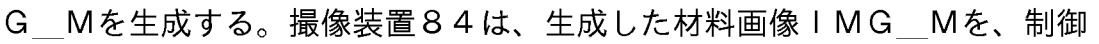
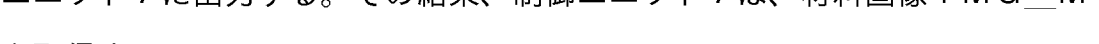
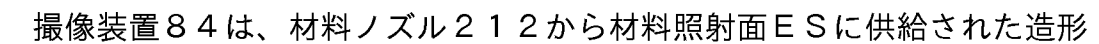
[0367] 材料画像IMG_Mに、材料照射面ESにおいて加工光ELの照射によって溶融した造形材料Mである溶融材料MMが写り込んでいる場合には、制御ユニット7は、材料画像IMG_Mに写り込んでいる溶融材料MMに関する情報に基づいて、加工システムSYS（特に、加工ユニット2及びステージユニット3の少なくとも一つ）を制御してもよい。

[0368] 材料画像IMG_Mに、溶融材料MMに加えて、材料照射面ESにおいて加工光ELの照射によって溶融しなかった造形材料Mである非溶融材料との双方が写り込んでいる場合には、制御ユニット7は、材料画像IMG_Mに写り込んでいる溶融材料MMに関する情報と、材料画像IMG_Mに写り込んでいる非溶融材料に関する情報とに基づいて、加工システムSYS（特に、加工ユニット2及びステージユニット3の少なくとも一つ）を制御してもよい。或いは、制御ユニット7は、溶融材料MMが写り込んだ材料画像IMG_Mと非溶融材料が写り込んだ材料画像IMG_Mとを取得し、溶融材料MMが写り込んだ材料画像IMG_Mと非溶融材料が写り込んだ材料画像IMG_Mとに基づいて、加工システムSYS（特に、加工ユニット2及びステージユニット3の少なくとも一つ）を制御してもよい。

以下、撮像装置84が生成した材料画像IMG_Mに基づいて行われる動作の一具体例について更に説明を進める。

(4-5-2) 材料画像 IMG_Mに基づいて行われる動作の具体例

- [0369] 例えば、制御ユニット7は、材料画像 IMG_Mに基づいて行われる動作の一具体例として、材料画像 IMG_Mに基づいて撮像装置84の位置を制御する撮像位置制御動作を行ってもよい。例えば、制御ユニット7は、材料画像 IMG_Mに基づいて、X軸方向、Y軸方向及びZ軸方向の少なくとも一つに沿った撮像装置84の位置を制御してもよい。例えば、制御ユニット7は、材料画像 IMG_Mに基づいて、 θ X方向、 θ Y方向及び θ Z方向の少なくとも一つに沿った撮像装置84の位置を制御してもよい。つまり、制御ユニット7は、材料画像 IMG_Mに基づいて、X軸、Y軸及びZ軸のうちの少なくとも一つの軸周りにおける撮像装置84の姿勢を制御してもよい。
- [0370] 或いは、例えば、制御ユニット7は、撮像位置制御動作に加えて又は代えて、材料画像 IMG_Mに基づいて行われる動作の一具体例として、材料画像 IMG_Mに基づく溶融材料フィードバック制御動作を行ってもよい。溶融材料フィードバック制御動作は、材料画像 IMG_M内の溶融材料領域MMAのサイズが目標サイズTSとなるように、材料画像 IMG_Mに基づいて加工ユニット2を制御する動作である。尚、溶融材料領域MMAについては、後に詳述する。
- [0371] 制御ユニット7は、加工システムSYSが造形動作（特に、第2造形動作）を行う造形期間の少なくとも一部において、溶融材料フィードバック制御動作を行ってもよい。つまり、加工システムSYSは、造形動作（特に、第2造形動作）と溶融材料フィードバック動作とを並行して行ってもよい。制御ユニット7は、加工システムSYSが造形動作（特に、第2造形動作）を行う造形期間の少なくとも一部において、リアルタイムで溶融材料フィードバック制御動作を行ってもよい。
- [0372] 以下、図40を参照しながら、溶融材料フィードバック制御動作の流れについて説明する。図40は、溶融材料フィードバック制御動作の流れを示すフローチャートである。

[0373] 図40に示すように、制御ユニット7は、撮像装置84から材料画像M取得する（ステップS11）。具体的には、撮像装置84は、材料ノズル212から材料照射面ESに供給された造形材料Mを撮像する。その結果、撮像装置84は、材料ノズル212から材料照射面ESに供給された造形材料Mが写り込んだ（特に、熔融材料MMが写り込んだ）材料画像Mを生成する。撮像装置84は、生成した材料画像Mを、制御ユニット7に出力する。その結果、制御ユニット7は、材料画像Mを取得する。

[0374] 撮像装置84は、材料ノズル212から材料照射面ESに供給された造形材料Mが撮像装置84の撮像範囲に収まるように、材料照射面ESを撮像する。具体的には、上述したように、造形材料Mは、材料照射面ES内の材料供給領域MSAに供給される。このため、撮像装置84は、材料供給領域MSAが撮像装置84の撮像範囲に収まるように、造形材料Mが供給される材料照射面ESに対して位置合わせされていてもよい。その結果、撮像装置84は、材料ノズル212から材料照射面ESに供給された造形材料Mを適切に撮像することができる。

[0375] 上述したように、ガルバノミラー2146及び2156によって、加工光ELは、材料照射面ES内を移動する。具体的には、ガルバノミラー2146及び2156によって、材料照射面ES内において、加工光ELが通過するビーム通過領域PAが移動する。その結果、材料照射面ES内において加工光ELが造形材料Mに照射される領域もまた、材料照射面ES内を移動する。つまり、材料照射面ES内において熔融材料MMが生成される領域もまた、材料照射面ES内を移動する。この場合、撮像装置84は、材料照射面ES内での熔融材料MMの移動範囲が撮像装置84の撮像範囲に収まるように材料照射面ESを撮像してもよい。つまり、撮像装置84は、材料照射面ES内で加工光ELが移動する移動範囲である照射単位領域MUAが撮像装置84の撮像範囲に収まるように、材料照射面ESを撮像してもよい。具体的には、撮像装置84は、材料照射面ES内での熔融材料MMの移動範囲（

つまり、照射単位領域MUA)が撮像装置84の撮像範囲に収まるように、造形材料Mが供給される材料照射面ESに対して位置合わせされていてもよい。その結果、撮像装置84は、照射単位領域MUA内を移動する熔融材料MMを適切に撮像することができる。


[0376] 撮像装置84は、造形材料Mが供給される材料照射面ESを、所定の撮像レートで繰り返し撮像してもよい。つまり、撮像装置84は、造形材料Mが供給される材料照射面ESを、所定の撮像レートで複数回連続して撮像してもよい。尚、撮像レートは、単位時間あたりに（例えば、1秒間あたりに）撮像装置84が材料照射面ESを撮像する回数を示す指標値であってもよい。言い換えれば、撮像装置84は、所定の撮像周期が経過する都度、材料照射面ESを繰り返し撮像してもよい。例えば、撮像装置84は、第1時刻に材料照射面ESを撮像し、その後、第1時刻から所定の撮像周期が経過した第2時刻に材料照射面ESを撮像してもよい。尚、撮像周期は、撮像レートの逆数であってもよい。この場合、撮像装置84は、時系列データとしての複数の材料画像IMG_Mを生成してもよい。制御ユニット7は、時系列データとしての複数の材料画像IMG_Mを取得してもよい。



[0377] 撮像装置84が材料照射面ESを繰り返し撮像する期間中においても、ガルバノミラー2146又は2156は、照射単位領域MUA内でビーム通過領域PAを移動させてもよい（つまり、加工光ELを移動させてもよい）。この場合、撮像装置84は、第1時刻に材料照射面ES内の第1位置に形成された熔融材料MMを撮像し、その後、第1時刻とは異なる第2時刻に第1位置とは異なる材料照射面ES内の第2位置に形成された熔融材料MMを撮像してもよい。つまり、撮像装置84は、第1時刻に材料照射面ES内の第1位置に出現した熔融材料MMを撮像し、その後、第2時刻に材料照射面ES内の第2位置に出現した熔融材料MMを撮像してもよい。その結果、撮像装置84が生成した複数の材料画像IMG_Mは、材料照射面ES内の第1位置に形成された熔融材料MMが写り込んだ材料画像IMG_Mと、材料照射面ES内の第2位置に形成された熔融材料MMが写り込んだ材料画像IM



G_Mとを含んでいてもよい。つまり、複数の材料画像 IMG_Mは、材料照射面 ES 内の第 1 位置に形成された溶融材料 MM を示す材料画像 IMG_M と、材料照射面 ES 内の第 2 位置に形成された溶融材料 MM を示す材料画像 IMG_M とを含んでいてもよい。複数の材料画像 IMG_M は、材料照射面 ES 内の第 1 位置に形成された溶融材料 MM を撮像することで生成される材料画像 IMG_M と、材料照射面 ES 内の第 2 位置に形成された溶融材料 MM を撮像することで生成される材料画像 IMG_M とを含んでいてもよい。




[0378] 尚、撮像装置 84 が材料照射面 ES を繰り返し撮像する場合には、撮像装置 84 は、材料照射面 ES からの光（例えば、上述した材料光 ML）で撮像素子を複数回露光しているとみなしてもよい。この場合、撮像素子の複数回の露光を、多重露光と称してもよい。つまり、撮像装置 84 は、撮像素子の多重露光を行うことで、時系列データとしての複数の材料画像 IMG_M を生成してもよい。言い換えれば、撮像装置 84 は、撮像素子による溶融材料 MM の多重露光を行うことで、時系列データとしての複数の材料画像 IMG_M を生成してもよい。つまり、撮像装置 84 は、撮像素子による溶融材料 MM の多重露光を行うことで、多重露光の結果としての複数の材料画像 IMG_M を生成してもよい。




[0379] 或いは、撮像装置 84 が材料照射面 ES を繰り返し撮像する場合には、撮像装置 84 は、一枚の材料画像 IMG_M を撮像するための一回の撮像動作において、材料照射面 ES からの光（例えば、上述した材料光 ML）で撮像素子を複数回露光してもよい。この場合、撮像素子の一枚の材料画像 IMG_M を撮像するための一回の撮像における複数回の露光を、多重露光と称してもよい。つまり、撮像装置 84 は、撮像素子の多重露光を行うことで、一枚の材料画像 IMG_M を生成してもよい。更に、撮像装置 84 は、一枚の材料画像 IMG_M を生成するための撮像素子の多重露光を繰り返し行うことで、時系列データとしての複数の材料画像 IMG_M を生成してもよい。つまり、撮像装置 84 は、撮像素子による溶融材料 MM の多重露光を行うこ

とで、多重露光の結果としての複数の材料画像を生成してもよい。







[0380] その後、制御ユニット7は、ステップS11において取得された少なくとも一つの材料画像に基づいて、溶融材料画像情報MMIを生成する(ステップS12)。溶融材料画像情報MMIは、材料画像に写り込んでいる溶融材料MMに関する情報である。







[0381] 制御ユニット7は、溶融材料画像情報MMIの一例として、溶融材料領域MMAに関する情報を生成してもよい。溶融材料領域MMAは、材料画像を示す図41に示すように、材料画像内において溶融材料MMが写り込んでいる領域を含んでもよい。











[0382] 溶融材料領域MMAに関する情報を生成するために、制御ユニット7は、ステップS11において時系列データとして取得された複数の材料画像のうち少なくとも二つを用いてもよい。つまり、制御ユニット7は、ステップS11において時系列データとして取得された複数の材料画像のうち少なくとも一部に相当する複数の材料画像を用いて、溶融材料領域MMAに関する情報を生成してもよい。






[0383] 具体的には、図42の左側は、時系列データとして取得される複数の材料画像を示している。図42の左側に示すように、ガルバノミラー2146又は2156によって溶融材料MMが移動している場合には、複数の材料画像の間で、溶融材料MMが写り込む位置が変わる可能性がある。なぜならば、ガルバノミラー2146又は2156によって溶融材料MMが移動している場合には、撮像装置84は、第1時刻に材料照射面ES内の第1位置に形成された溶融材料MMを撮像し、その後、第1時刻とは異なる第2時刻に第1位置とは異なる材料照射面ES内の第2位置に形成された溶融材料MMを撮像する可能性があるからである。特に、撮像装置84の露光時間が一定時間よりも短い場合に、複数の材料画像の間で、溶融材料MMが写り込む位置が変わる可能性がある。

[0384] この場合、制御ユニット7は、図42に示すように、溶融材料領域MMA

に関する情報を生成するために、ステップS 11において取得された複数の材料画像のうち連続する少なくとも二つの材料画像を加算することで、加算画像を生成してもよい。つまり、制御ユニット7は、連続する少なくとも二つの材料画像を合成することで、加算画像を生成してもよい。尚、加算画像は、合成画像と称されてもよい。

[0385] 具体的には、制御ユニット7は、連続する少なくとも二つの材料画像を、画素の単位で加算してもよい。例えば、制御ユニット7は、連続する少なくとも二つの材料画像の信号値を、画素の単位で加算してもよい。材料画像の信号値の一例として、輝度に関する値（つまり、輝度値）があげられる。加算される材料画像の枚数である加算フレーム数は、予め設定されていてもよい。加算される材料画像の枚数である加算フレーム数は、制御ユニット7によって適宜設定されていてもよい。加算される材料画像の枚数である加算フレーム数は、加工システムSYSのユーザによって適宜設定されていてもよい。






[0386] この場合、加算画像は、加算画像の各画素の信号値が、加算された少なくとも二つの材料画像の各画素の信号値の総和となる画像であってもよい。具体的には、加算画像は、加算画像の第x行第y列の画素の信号値が、加算された少なくとも二つの材料画像の第x行第y列の画素の信号値の総和となる画像であってもよい。尚、xは、1以上であって、且つ、加算画像及び材料画像のそれぞれの水平方向の画素の総数以下の整数を示す変数である。yは、1以上であって、且つ、加算画像及び材料画像のそれぞれの垂直方向の画素の総数以下の整数を示す変数である。







[0387] 或いは、加算画像は、加算画像の各画素の信号値が、加算された少なくとも二つの材料画像の各画素の信号値の平均値となる画像であってもよい。例えば、加算画像は、加算画像の第x行第y列の画素の信号値が、加算された少なくとも二つの材





料画像 IMG_M の第 x 行第 y 列の画素の信号値の平均値（つまり、信号値の総和を加算フレーム数で割ることによって得られる値）となる画像であってもよい。この場合、制御ユニット 7 は、少なくとも二つの材料画像 IMG_M の各画素の信号値の総和を算出し、その後、算出した総和を加算フレーム数で割ることによって、加算画像 IMG_C を生成してもよい。或いは、制御ユニット 7 は、少なくとも二つの材料画像 IMG_M のそれぞれの各画素の信号値を加算フレーム数で割り、その後、各画素の信号値の総和を算出することで、加算画像 IMG_C を生成してもよい。

[0388] 或いは、加算画像 IMG_C は、加算画像 IMG_C の各画素の信号値が、加算された少なくとも二つの材料画像 IMG_M の各画素の信号値の移動平均値となる画像であってもよい。例えば、制御ユニット 7 は、直近に取得した少なくとも二つの材料画像 IMG_M の各画素の信号値の移動平均値を算出することで、加算画像 IMG_C を生成してもよい。一例として、制御ユニット 7 は、第 1 フレームから第 10 フレームがインデックスとして割り当てられた十枚の材料画像 IMG_M の各画素の信号値の移動平均値を算出することで、一枚目の加算画像 IMG_C を生成し、その後、第 2 フレームから第 11 フレームがインデックスとして割り当てられた十枚の材料画像 IMG_M の各画素の信号値の移動平均値を算出することで、二枚目の加算画像 IMG_C を生成し、その後、第 3 フレームから第 12 フレームがインデックスとして割り当てられた十枚の材料画像 IMG_M の各画素の信号値の移動平均値を算出することで、三枚目の加算画像 IMG_C を生成してもよい。以降、制御ユニット 7 は、同様の方法で加算画像 IMG_C を生成してもよい。

[0389] 制御ユニット 7 は、典型的には、撮像装置 84 から、デジタル信号によって示される材料画像 IMG_M を取得する。この場合、制御ユニット 7 は、複数の材料画像 IMG_M をそれぞれ示す複数のデジタル信号を加算することで、複数の材料画像 IMG_M を加算してもよい。例えば、制御ユニット 7 は、入力されたデジタル信号を加算する加算器（つまり、ハードウェアと

しての加算器)を用いて複数のデジタル信号を加算することで、複数の材料画像を加算してもよい。例えば、制御ユニット7は、デジタル信号をバッファに展開した後に、バッファに展開されたデジタル信号を加算する(つまり、ソフトウェアの処理としてデジタル信号を加算する)ことで、複数の材料画像を加算してもよい。或いは、制御ユニット7は、複数の材料画像に対して所定の画像処理を行い、その後、所定の画像処理が行われた複数の材料画像をそれぞれ示す複数のデジタル信号を加算することで、複数の材料画像を加算してもよい。所定の信号処理の一例として、ガンマ処理、ノイズ除去処理、及び、HDR (High Dynamic Range) 処理の少なくとも一つがあげられる。

[0390] 或いは、制御ユニット7は、撮像装置84から、アナログ信号によって示される材料画像を取得してもよい。この場合、制御ユニット7は、複数の材料画像をそれぞれ示す複数のアナログ信号を加算することで、複数の材料画像を加算してもよい。或いは、制御ユニット7は、アナログ信号をデジタル信号に変換してもよい。その後、制御ユニット7は、撮像装置84からデジタル信号によって示される材料画像を取得する場合と同様に、複数の材料画像をそれぞれ示す複数のデジタル信号を加算することで、複数の材料画像を加算してもよい。

[0391] その後、制御ユニット7は、加算画像内において、熔融材料MMが写り込んでいる熔融材料領域MMAを検出してもよい。具体的には、図42の左側に示すように、材料画像内において、熔融材料MMが写り込んでいる領域の信号値は、熔融材料MMが写り込んでいない領域の信号値とは異なる。なぜならば、熔融材料MMは、熔融という物理現象に起因して強く発光しているからである。このため、材料画像内において、熔融材料MMが写り込んでいる領域の輝度値は、熔融材料MMが写り込んでいない領域の輝度値とは異なる。典型的には、材料画像内に

において、溶融材料MMが写り込んでいる領域の輝度値は、溶融材料MMが写り込んでいない領域の輝度値よりも高くなる。このため、図42の右側に示すように、加算画像IMG_C内においても、溶融材料MMが写り込んでいる領域の信号値は、溶融材料MMが写り込んでいない領域の信号値とは異なる。つまり、加算画像IMG_C内において、溶融材料領域MMAの信号値は、溶融材料領域MMAとは異なる領域の信号値とは異なる。典型的には、溶融材料領域MMAの輝度値は、溶融材料領域MMAとは異なる領域の輝度値よりも高くなる。このため、制御ユニット7は、加算画像IMG_Cの各画素の信号値（例えば、輝度値）と所定の信号閾値とを比較することで、加算画像IMG_C内で溶融材料領域MMAを検出してもよい。

[0392] 例えば、制御ユニット7は、加算画像IMG_C内において、所定の信号閾値よりも大きくなる信号値（例えば、輝度値）を有する画素を検出してもよい。つまり、制御ユニット7は、加算画像IMG_C内において、加算された信号値（例えば、輝度値）が所定の信号閾値よりも大きくなる画素を検出してもよい。この場合、制御ユニット7は、検出した画素を含む領域を、溶融材料領域MMAとして検出してもよい。

[0393] 例えば、制御ユニット7は、加算画像IMG_C内において、所定の信号閾値よりも大きくなる信号値（例えば、輝度値）を有する画素の信号値を第1の信号値に設定してもよい。一方で、制御ユニット7は、加算画像IMG_C内において、所定の信号閾値よりも小さくなる信号値（例えば、輝度値）を有する画素の信号値を第1の信号値とは異なる第2の信号値（例えば、0）に設定してもよい。つまり、制御ユニット7は、加算画像IMG_Cに対して2値化処理を行ってもよい。その後、制御ユニット7は、信号値が第1の信号値となる画素を含む領域を、溶融材料領域MMAとして検出してもよい。つまり、制御ユニット7は、2値化処理が行われた加算画像IMG_Cを用いて、溶融材料領域MMAを検出してもよい。

[0394] この場合、第1の信号値として、「1」という信号値が用いられ、第2の信号値として、「0」という信号値が用いられてもよい。つまり、制御ユニ

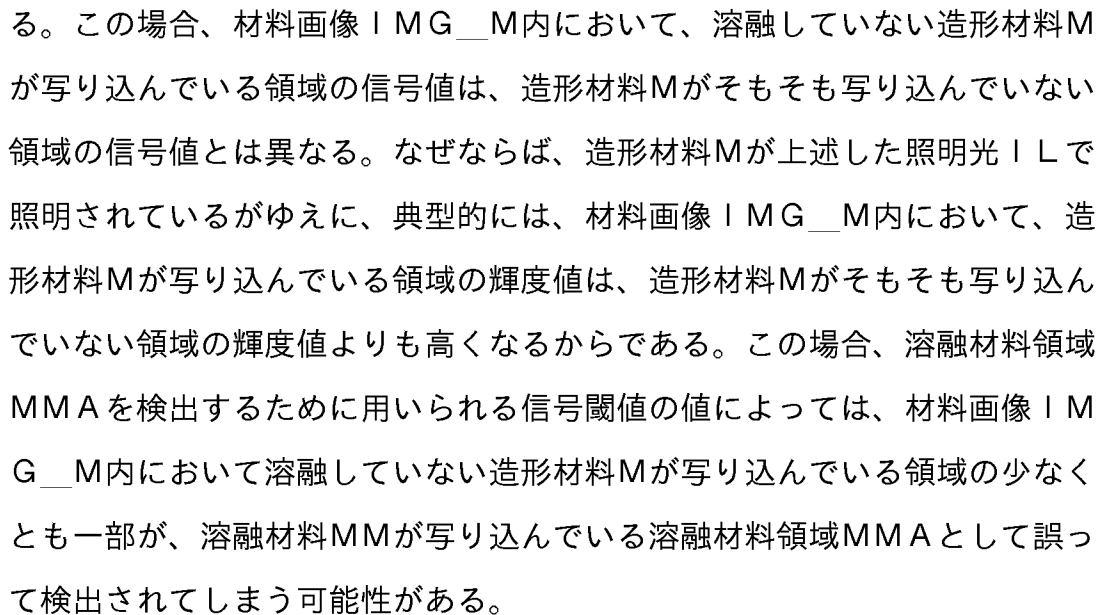
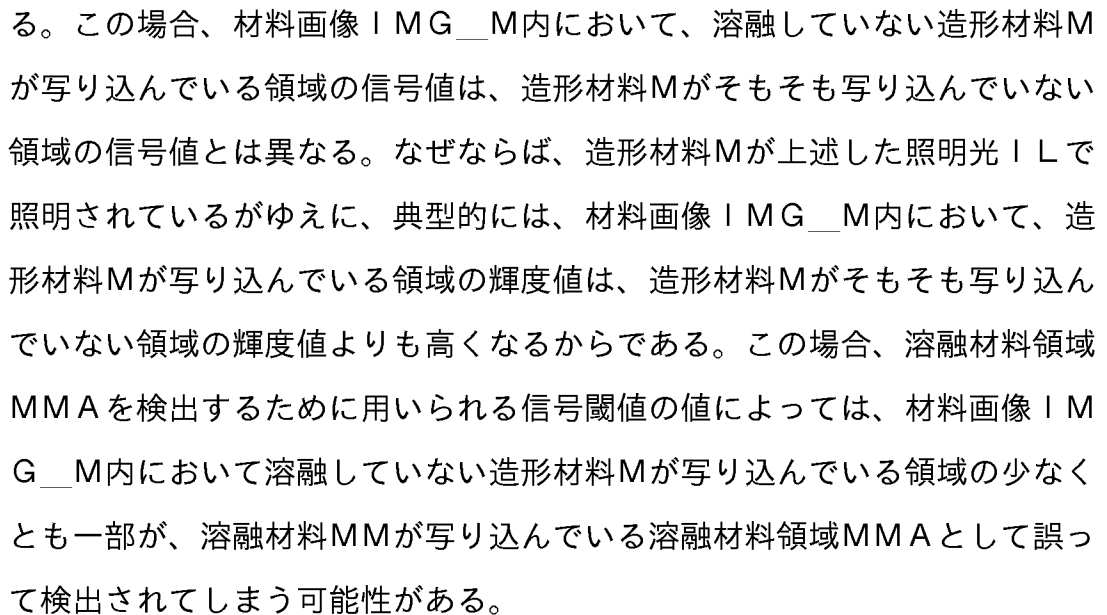
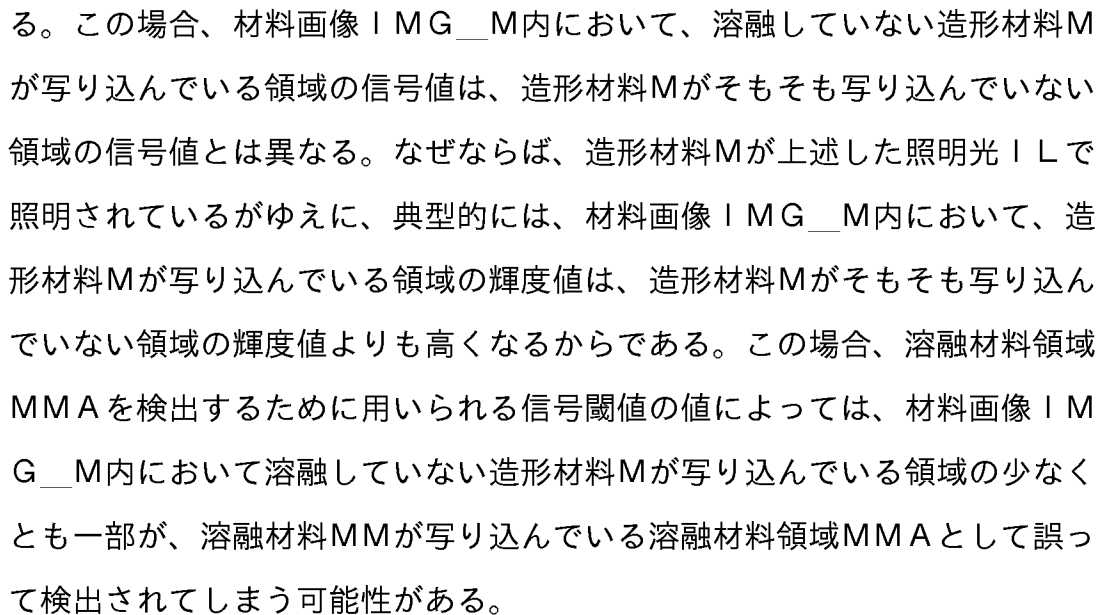
ット7は、加算画像IMG_C内において、所定の信号閾値よりも大きくなる信号値を有する画素の信号値を1に設定してもよい。一方で、制御ユニット7は、加算画像IMG_C内において、所定の信号閾値よりも小さくなる信号値を有する画素の信号値を0に設定してもよい。その後、制御ユニット7は、信号値が1となる画素を含む領域を、溶融材料領域MMAとして検出してもよい。

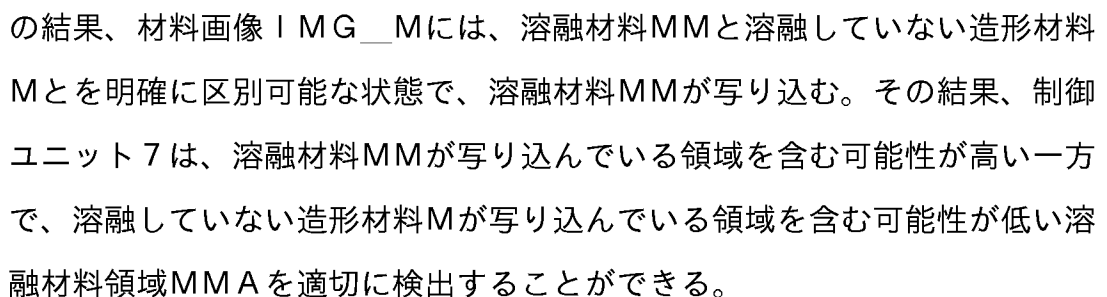
[0395] 信号閾値は、溶融材料領域MMAと溶融材料領域MMAとは異なる領域とを、信号値（例えば、輝度値）から区別可能な適切な値に設定されていてもよい。信号閾値は、予め設定されていてもよい。信号閾値は、制御ユニット7によって適宜設定されていてもよい。信号閾値は、加工システムSYSのユーザによって適宜設定されていてもよい。

[0396] 加算画像IMG_C内で検出される溶融材料領域MMAは、実質的には、溶融材料MMが移動した領域と等価であるとみなしてもよい。特に、加算画像IMG_C内で検出される溶融材料領域MMAは、実質的には、加算画像IMG_Cを生成するために用いた少なくとも二つの材料画像IMG_Mが撮像された期間中に溶融材料MMが移動した領域と等価であるとみなしてもよい。このため、溶融材料領域MMAは、溶融材料MMが移動した領域を意味していてもよい。

[0397] 加算画像IMG_C内で検出される溶融材料領域MMAは、実質的には、加工システムSYSが溶融材料MMを異なる位置に連続的に形成する領域と等価であるとみなしてもよい。このため、溶融材料領域MMAは、加工システムSYSが溶融材料MMを異なる位置に連続的に形成する領域を意味していてもよい。

[0398] 但し、材料画像IMG_Mには、溶融材料MMに加えて、溶融していない造形材料Mが写り込んでいる可能性がある。例えば、材料画像IMG_Mには、加工光ELが照射されたものの溶融していない造形材料Mが写り込んでいる可能性がある。例えば、材料画像IMG_Mには、加工光ELが照射されていないがゆえに溶融していない造形材料Mが写り込んでいる可能性がある。

る。この場合、材料画像内において、溶融していない造形材料Mが写り込んでいる領域の信号値は、造形材料Mがそもそも写り込んでいない領域の信号値とは異なる。なぜならば、造形材料Mが上述した照明光ILで照明されているがゆえに、典型的には、材料画像内において、造形材料Mが写り込んでいる領域の輝度値は、造形材料Mがそもそも写り込んでいない領域の輝度値よりも高くなるからである。この場合、溶融材料領域MMAを検出するために用いられる信号閾値の値によっては、材料画像内において溶融していない造形材料Mが写り込んでいる領域の少なくとも一部が、溶融材料MMが写り込んでいる溶融材料領域MMAとして誤って検出されてしまう可能性がある。

[0399] そこで、照明装置85は、溶融材料MMが発生する材料光MLである溶融材料光の波長とは異なる波長を有する照明光ILで、材料照射面ESを照明してもよい。溶融材料光の波長と照明光ILの波長とが異なる状態は、溶融材料光のピーク波長と照明光ILのピーク波長とが異なる状態を含んでもよい。一例として、溶融材料光のピーク波長が800nmである場合には、照明光ILのピーク波長は、800nmとは異なる波長（例えば、600nm）であってもよい。この場合、撮像装置84は、溶融材料光の波長と同じ波長の光成分が通過可能である一方で、溶融材料光の波長と異なる波長の光成分を遮光するフィルタを介して、材料照射面ESを撮像してもよい。その結果、材料画像には、溶融材料MMと溶融していない造形材料Mとを明確に区別可能な状態で、溶融材料MMが写り込む。その結果、制御ユニット7は、溶融材料MMが写り込んでいる領域を含む可能性が高い一方で、溶融していない造形材料Mが写り込んでいる領域を含む可能性が低い溶融材料領域MMAを適切に検出することができる。

[0400] その後、制御ユニット7は、溶融材料領域MMAの検出結果に基づいて、溶融材料領域MMAに関する情報を、溶融材料画像情報MMIとして生成してもよい。例えば、制御ユニット7は、溶融材料領域MMAに関する情報の一例として、溶融材料領域MMAのサイズに関する情報を生成してもよい。

一例として、制御ユニット7は、溶融材料領域MMAの面積を算出し、算出した溶融材料領域MMAの面積に関する情報を、溶融材料領域MMAのサイズに関する情報として生成してもよい。この場合、制御ユニット7は、溶融材料領域MMAの面積として、溶融材料領域MMAを構成する画素の数を算出してよい。つまり、制御ユニット7は、加算画像IMG_Cに基づいて、所定の信号閾値よりも大きくなる信号値（例えば、輝度値）を有する画素の数を算出することで、溶融材料領域MMAのサイズに関する情報を生成してもよい。

[0401] 但し、制御ユニット7は、複数の材料画像IMG_Mを用いることに代えて、単一の材料画像IMG_Mを用いて、溶融材料領域MMAに関する情報を生成してもよい。具体的には、制御ユニット7は、材料画像IMG_Mの各画素の信号値（例えば、輝度値）と所定の信号閾値とを比較することで、材料画像IMG_M内で溶融材料領域MMAを検出してもよい。例えば、制御ユニット7は、材料画像IMG_M内において、所定の信号閾値よりも大きくなる信号値（例えば、輝度値）を有する画素を検出してもよい。この場合、制御ユニット7は、検出した画素を含む領域を、溶融材料領域MMAとして検出してもよい。その後、制御ユニット7は、溶融材料領域MMAの検出結果に基づいて、溶融材料領域MMAに関する情報を、溶融材料画像情報MMIとして生成してもよい。

[0402] 撮像装置84の露光時間が一定時間よりも長くなると、一枚の材料画像IMG_Mに、加算画像IMG_Cに写り込んでいる溶融材料領域MMAと同様の溶融材料領域MMAが写り込む可能性が高くなる。例えば、撮像装置84の露光時間が、溶融材料MMの周期的な移動の周期に応じて定まる一定時間よりも長くなると、一枚の材料画像IMG_Mに、加算画像IMG_Cに写り込んでいる溶融材料領域MMAと同様の溶融材料領域MMAが写り込む可能性が高くなる。一例として、撮像装置84の露光時間が、溶融材料MMの周期的な移動の一周期よりも長くなると、一枚の材料画像IMG_Mに、加算画像IMG_Cに写り込んでいる溶融材料領域MMAと同様の溶融材料

領域MMAが写り込む可能性が高くなる。このため、撮像装置84の露光時間が一定時間よりも長い場合には、制御ユニット7は、複数の材料画像IMG_Mを用いることなく、単一の材料画像IMG_Mを用いて、溶融材料画像情報MMIを生成してもよい。尚、この一定時間は、溶融材料MMの周期的な移動（つまり、照射単位領域MUA内でのビーム通過領域PAの周期的な移動）の一周期に要する期間であってもよい。この一定時間は、溶融材料MMの周期的な移動の一周期に要する期間の半分であってもよい。この一定時間は、溶融材料MMの周期的な移動の一周期に要する期間の1/3であってもよい。制御ユニット7は、溶融材料領域MMAが写り込んでいる単一の材料画像IMG_Mを用いて、溶融材料画像情報MMIを生成してもよい。


[0403] 尚、撮像装置84の露光時間は、撮像装置84の撮像素子が光で露光される時間を意味していてもよい。例えば、撮像装置84がメカニカルシャッタを備えている場合には、撮像装置84の露光時間は、メカニカルシャッタの状態が開状態となっている時間を意味していてもよい。つまり、撮像装置84の露光時間は、メカニカルシャッタの状態が開状態に切り替えられるタイミングから、メカニカルシャッタの状態が閉状態に切り替えられるタイミングまでの時間を意味していてもよい。開状態は、メカニカルシャッタが開いている状態を意味していてもよい。閉状態は、メカニカルシャッタが閉じている状態を意味していてもよい。或いは、撮像装置84が電子シャッタを備えている場合には、撮像装置84の露光時間は、電子シャッタの状態がオン状態となっている時間を意味していてもよい。つまり、撮像装置84の露光時間は、電子シャッタの状態がオン状態に切り替えられるタイミングから、電子シャッタの状態がオフ状態に切り替えられるタイミングまでの時間を意味していてもよい。オン状態は、電子シャッタがオンになっている状態を意味していてもよい。電子シャッタがオンになっている状態は、撮像素子の各画素が一回の撮像において露光され且つ撮像素子の各画素に光量に基づいた電荷を蓄積可能な状態を意味していてもよい。

[0404] 或いは、撮像装置84がメカニカルシャッタを備えている場合には、撮像

装置 84 は、上述した撮像レートに同期するタイミングでメカニカルシャッタを複数回開閉してもよい。この場合においても、撮像装置 84 は、多重露光を行っているともみなしてもよい。その後、撮像装置 84 は、撮像素子の各画素に蓄積された電荷を読み出してもよい。この場合においても、撮像装置 84 が生成した一枚の材料画像 IMG_M に、加算画像 IMG_C に写り込んでいる溶融材料領域 MMA と同様の溶融材料領域 MMA が写り込む可能性が高い。このため、制御ユニット 7 は、溶融材料領域 MMA が写り込んでいる単一の材料画像 IMG_M を用いて、溶融材料画像情報 MMI を生成してもよい。

[0405] 撮像装置 84 が電子シャッタを備えている場合においても、撮像装置 84 は、上述した撮像レートに同期するタイミングで電子シャッタを複数回オンオフしてもよい。この場合においても、撮像装置 84 は、多重露光を行っているともみなしてもよい。その後、撮像装置 84 は、撮像素子の各画素に蓄積された電荷を読み出してもよい。この場合においても、撮像装置 84 が生成した一枚の材料画像 IMG_M に、加算画像 IMG_C に写り込んでいる溶融材料領域 MMA と同様の溶融材料領域 MMA が写り込む可能性が高い。このため、制御ユニット 7 は、溶融材料領域 MMA が写り込んでいる単一の材料画像 IMG_M を用いて、溶融材料画像情報 MMI を生成してもよい。但し、撮像装置 84 は、電子シャッタをオンオフする都度、撮像素子の各画素に蓄積された電荷を読み出してもよい。この場合、撮像装置 84 は、実質的には、時系列データとしての複数の材料画像 IMG_M を生成しているともみなしてもよい。

[0406] 尚、撮像装置 84 が生成する材料画像 IMG_M から、溶融材料 MM に関する情報である溶融材料画像情報 MMI が生成されるがゆえに、撮像装置 84 は、溶融材料 MM に関する情報を取得する計測装置として機能しているともみなしてもよい。撮像装置 84 は、材料照射面 ES（つまり、材料ノズル 212 と造形面 MS との間の空間）において造形材料 M を計測する計測装置として機能しているともみなしてもよい。この場合、制御ユニット 7 は、計測装

置として機能する撮像装置の計測結果（例えば、材料画像）に基づいて、加工システムSYS（例えば、加工ユニット2）を制御しているとみなしてもよい。

[0407] 或いは、加工システムSYSは、撮像装置84に加えて又は代えて、撮像装置84とは異なり且つ材料照射面ES（つまり、材料ノズル212と造形面MSとの間の空間）において造形材料Mを計測可能な任意の計測装置を備えていてもよい。この場合、制御ユニット7は、任意の計測装置の計測結果に基づいて、加工システムSYS（例えば、加工ユニット2）を制御してもよい。

[0408] 再び図40において、その後、制御ユニット7は、ステップS12において生成された熔融材料画像情報MMIに基づいて、加工システムSYS（例えば、加工ユニット2）を制御する（ステップS13）。例えば、図43に示すように、制御ユニット7は、熔融材料画像情報MMIに基づいて、熔融材料領域MMAのサイズが所定の目標サイズTSとなるように、加工システムSYS（例えば、加工ユニット2）を制御する。

[0409] 加工ユニット2の制御は、加工光ELの照射態様の制御を含んでいてもよい。加工光ELの照射態様の制御は、加工光ELの強度、加工光ELの動き、加工光ELの断面形状、加工光ELの断面サイズ、加工光ELの移動速度、加工光ELの移動経路（移動軌跡）、加工光ELのオンオフ制御、加工光ELのデューティ比、及び、加工光ELのフォーカス位置CPと造形面MSとの間の距離のうちの少なくとも一つの制御を含んでいてもよい。つまり、加工ユニット2の制御は、加工光ELの強度、加工光ELの動き、加工光ELの断面形状、加工光ELの断面サイズ、加工光ELの移動速度、加工光ELの移動経路（移動軌跡）、加工光ELのオンオフ制御、加工光ELのデューティ比、及び、加工光ELのフォーカス位置CPと造形面MSとの間の距離のうちの少なくとも一つの制御を含んでいてもよい。

[0410] 特に、加工光ELの照射態様の制御は、材料照射面ES内での加工光ELの強度、材料照射面ES内での加工光ELの動き、材料照射面ES内での加

加工光E Lの断面形状、材料照射面E S内での加工光E Lの断面サイズ、材料照射面E S内での加工光E Lの移動速度、及び、材料照射面E S内での加工光E Lの移動経路（移動軌跡）のうちの少なくとも一つの制御を含んでもよい。つまり、加工ユニット2の制御は、材料照射面E S内での加工光E Lの強度、材料照射面E S内での加工光E Lの動き、材料照射面E S内での加工光E Lの断面形状、材料照射面E S内での加工光E Lの断面サイズ、材料照射面E S内での加工光E Lの移動速度、及び、材料照射面E S内での加工光E Lの移動経路（移動軌跡）のうちの少なくとも一つの制御を含んでもよい。

[0411] 一例として、制御ユニット7は、溶融材料領域MMAのサイズが所定の目標サイズTSとなるように、光源4が射出する加工光E Lの強度を制御してもよい。つまり、制御ユニット7は、加工光E Lの強度のDC成分を制御するDC変調制御を行ってもよい。つまり、加工光E Lの強度が変わると、溶融材料MMのサイズが変わる。例えば、加工光E Lの強度が高くなるほど、加工光E Lによって溶融する造形材料Mの分量が増える。このため、加工光E Lの強度が高くなるほど、溶融材料MMのサイズが大きくなる。溶融材料MMのサイズが変わると、材料画像IMG_M又は加算画像IMG_Cに写り込む溶融材料領域MMAのサイズが変わる。このため、制御ユニット7は、加工光E Lの少なくとも一方の強度を制御することで、溶融材料領域MMAのサイズを制御することができる。

[0412] 尚、加工光E Lの強度が変わると、加工光E Lから造形材料Mに伝わる入熱量が変わる。このため、溶融材料領域MMAのサイズが所定の目標サイズTSとなるように加工光E Lの強度を制御する動作は、溶融材料領域MMAのサイズが所定の目標サイズTSとなるように加工光E Lから造形材料Mに伝わる入熱量を制御する動作と等価であるとみなしてもよい。或いは、制御ユニット7は、溶融材料領域MMAのサイズが所定の目標サイズTSとなるように、加工光E Lの強度とは異なる加工光E Lの照射態様を制御することで、加工光E Lから造形材料Mに伝わる入熱量を制御してもよい。

[0413] 他の一例として、制御ユニット7は、溶融材料領域MMAのサイズが所定の目標サイズTSとなるように、溶融材料MMを移動させるガルバノミラー2146及び2156の少なくとも一方を制御してもよい。ガルバノミラー2146及び2156の少なくとも一方が溶融材料MMを移動させる範囲（つまり、ガルバノミラー2146及び2156の少なくとも一方がビーム通過領域PAを移動させる範囲）が変わると、材料画像IMG_M又は加算画像IMG_Cに写り込む溶融材料領域MMAのサイズが変わる。このため、制御ユニット7は、ガルバノミラー2146及び2156の少なくとも一方を制御することで、溶融材料領域MMAのサイズを制御することができる。

[0414] 溶融材料領域MMAのサイズが目標サイズTSとなるように加工システムSYSを制御する動作は、溶融材料領域MMAのサイズと目標サイズTSとの差分が小さくなるように加工システムSYSを制御する動作を含んでもよい。つまり、溶融材料領域MMAのサイズが目標サイズTSとなるように加工システムSYSを制御する動作は、溶融材料領域MMAのサイズを目標サイズTSに近づけるように加工システムSYSを制御する動作を含んでもよい。また、溶融材料領域MMAのサイズが目標サイズTSとなるように加工システムSYSを制御する動作は、溶融材料領域MMAのサイズと目標サイズTSとの差分をゼロにするように加工システムSYSを制御する動作を含んでもよい。つまり、溶融材料領域MMAのサイズが目標サイズTSとなるように加工システムSYSを制御する動作は、溶融材料領域MMAのサイズを目標サイズTSに一致させるように加工システムSYSを制御する動作を含んでもよい。いずれの場合においても、制御ユニット7は、溶融材料領域MMAのサイズに基づいて加工システムSYSのフィードバック制御を行っているともみなしてもよい。

[0415] その結果、溶融材料領域MMAのサイズが目標サイズTSに維持される。ここで、上述したように、溶融材料領域MMAは、材料照射面ES内で溶融材料MMが移動する領域に相当する。つまり、溶融材料領域MMAは、材料照射面ES内で溶融材料MMが分布する領域に相当する。このため、溶融材

料領域MMAのサイズは、実質的には、溶融材料MMが移動する照射単位領域MUAのサイズと相関を有する。このため、溶融材料領域MMAのサイズが目標サイズTSに維持されると、照射単位領域MUAのそれぞれのサイズもまた、目標サイズTSに応じたサイズに維持される。その結果、材料照射面ES上で照射単位領域MUAを移動させることで造形面MS上に造形される線状の造形物のサイズ（典型的には、幅）もまた、目標サイズTSに応じたサイズに維持される。なぜならば、線状の造形物のサイズは、照射単位領域MUAのサイズと相関を有するからである。具体的には、線状の造形物のサイズは、照射単位領域MUAのサイズが大きくなるほど大きくなる。逆に、線状の造形物のサイズは、照射単位領域MUAのサイズが小さくなるほど小さくなる。このため、加工システムSYSは、溶融材料フィードバック制御動作を行うことで、所望のサイズ（典型的には、所望の幅）を有する線状の造形物を造形することができる。つまり、加工システムSYSは、溶融材料フィードバック制御動作を行うことで、所望のサイズとは異なるサイズを有する線状の造形物を誤って造形する可能性が低くなる。このため、加工システムSYSは、高い造形精度で造形物を造形することができる。

[0416] 別の一例として、撮像装置84の撮像結果（材料画像）から、材料ノズル212から材料照射面ESに供給された造形材料Mの分布、つまり材料供給領域MSAの形状及びサイズを得ることができるため、制御ユニット7は、撮像装置84の撮像結果（材料画像）に基づいて、上述した第2造形動作の第2変形例、特にビーム制御動作の第1及び第2具体例を実施するように、加工光ELの照射態様の制御を行ってもよい。

[0417] 尚、上述した説明では、制御ユニット7は、少なくとも二つの材料画像IMG_Mを加算することで、照射単位領域MUAのサイズと相関を有する溶融材料画像情報MMIを生成している。しかしながら、制御ユニット7は、少なくとも二つの材料画像IMG_Mを加算することなく、少なくとも二つの材料画像IMG_Mから、照射単位領域MUAのサイズ（つまり、材料照射面ES内で溶融材料MMが移動する領域のサイズ）と相関を有する指標値

を算出してもよい。この場合、制御ユニット7は、図40のステップS13において、算出した指標値が上述した目標サイズTS（或いは、目標サイズTSに応じた値）となるように、加工システムSYSを制御してもよい。

[0418] 一例として、制御ユニット7は、少なくとも二つの材料画像IMG_Mにそれぞれ写り込んでいる少なくとも二つの溶融材料MMのサイズを算出してもよい。例えば、制御ユニット7は、第1の材料画像IMG_Mに写り込んでいる溶融材料MMのサイズを算出し、且つ、第1の材料画像IMG_Mとは異なる第2の材料画像IMG_Mに写り込んでいる溶融材料MMのサイズを算出してもよい。その後、制御ユニット7は、算出した少なくとも二つの溶融材料MMのサイズを加算してもよい。例えば、制御ユニット7は、第1の材料画像IMG_Mに写り込んでいる溶融材料MMのサイズと、第2の材料画像IMG_Mに写り込んでいる溶融材料MMのサイズとを加算してもよい。この場合、少なくとも二つの溶融材料MMのサイズを加算することで得られる値が、照射単位領域MUAのサイズ（つまり、材料照射面ES内で溶融材料MMが移動する領域のサイズ）と相関を有する指標値として用いられてもよい。

[0419] 他の一例として、制御ユニット7は、少なくとも二つの材料画像IMG_Mにそれぞれ写り込んでいる少なくとも二つの溶融材料MMの位置を算出してもよい。例えば、制御ユニット7は、第1の材料画像IMG_Mに写り込んでいる溶融材料MMの位置を算出し、且つ、第1の材料画像IMG_Mとは異なる第2の材料画像IMG_Mに写り込んでいる溶融材料MMの位置を算出してもよい。その後、制御ユニット7は、算出した少なくとも二つの溶融材料MMの位置に基づいて、照射単位領域MUAのサイズ（つまり、溶融材料MMが移動する領域のサイズ）を算出してもよい。例えば、上述したように、ビーム通過領域PAが照射単位領域MUAで一方向に沿って周期的に移動するがゆえに、材料照射面ES内で溶融材料MMもまた一方向に沿って周期的に移動する。この場合、制御ユニット7は、算出した溶融材料MMの位置に基づいて、溶融材料MMが移動する領域の一方向における両端

部の位置を算出してもよい。例えば、制御ユニット7は、溶融材料MMの位置を示す座標が最大となる位置と、溶融材料MMの位置を示す座標が最小となる位置とを、溶融材料MMが移動する領域の一の方向における両端部の位置として算出してもよい。その後、制御ユニット7は、算出した両端部の位置の間の距離を、照射単位領域MUAのサイズ（つまり、材料照射面ES内で溶融材料MMが移動する領域のサイズ）と相関を有する指標値として算出してもよい。この場合、制御ユニット7は、図40のステップS13において、算出した指標値が上述した目標サイズTSに応じた距離となるように、加工システムSYSを制御してもよい。

(4-5-3) 溶融池MPの撮像

[0420] 撮像装置84は、材料照射面ESを撮像することに加えて又は代えて、造形面MSに形成された溶融池MPを撮像してもよい。或いは、図44に示すように、加工システムSYSは、撮像装置84に加えて又は代えて、造形面MSに形成された溶融池MPを撮像可能な撮像装置86を備えていてもよい。

[0421] 撮像装置84又は86は、溶融池MPを撮像することで、溶融池MPが写り込んだ画像IMGを生成してもよい。この場合、制御ユニット7は、撮像装置84又は86が生成した画像IMGに基づいて、画像IMG内において溶融池MPが写り込んでいる溶融池領域のサイズを算出し、溶融池領域のサイズが所定の目標サイズとなるように、加工システムSYS（例えば、加工ユニット2）を制御してもよい。この場合も、加工システムSYSは、高い造形精度で造形物を造形することができる。

(4-5-4) ワークWの撮像

[0422] 撮像装置84は、材料照射面ESを撮像することに加えて又は代えて、造形面MSを撮像してもよい。或いは、図44に示すように、加工システムSYSは、撮像装置84に加えて又は代えて、造形面MSを撮像可能な撮像装置86を備えていてもよい。

[0423] 典型的には、撮像装置84又は86は、造形面MSを表面に有する物体（

例えば、ワークW又は構造層SL)を撮像してもよい。撮像装置84又は86は、造形面MSを撮像することで、造形面MS(特に、造形面MSを表面に有する物体)が写り込んだ画像IMGを生成してもよい。尚、造形面MS(特に、造形面MSを表面に有する物体)が写り込んだ画像IMGは、物体画像と称されてもよい。

[0424] この場合、制御ユニット7は、撮像装置84又は86が生成した画像IMGに基づいて、造形面MSに供給された造形材料Mの温度を算出し、算出された造形材料Mの温度に基づいて、加工システムSYS(例えば、加工ユニット2)を制御してもよい。例えば、制御ユニット7は、算出された造形材料Mの温度に基づいて、高い造形精度で造形物を造形するように加工システムSYS(例えば、加工ユニット2)を制御してもよい。

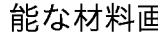
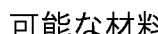
[0425] 制御ユニット7は、撮像装置84又は86が生成した画像IMGに基づいて、造形面MSの温度を算出し、算出された造形面MSの温度に基づいて、加工システムSYS(例えば、加工ユニット2)を制御してもよい。例えば、制御ユニット7は、算出された造形面MSの温度に基づいて、高い造形精度で造形物を造形するように加工システムSYS(例えば、加工ユニット2)を制御してもよい。

[0426] 撮像装置84又は86が造形面MSを撮像する場合には、上述した照明装置85は、造形面MSを照明光ILで照明してもよい。或いは、加工システムSYSは、照明装置85に加えて又は代えて、造形面MSを照明光ILで照明可能な照明装置を備えていてもよい。この場合、撮像装置84又は86は、造形面MSを適切に撮像することができる。

(4-5-5) 撮像条件の変更

[0427] 加工システムSYSが撮像装置84(更には、撮像装置86、以下同じ)を備える場合には、制御ユニット7は、撮像装置84が熔融材料MMを撮像するための撮像条件を変更してもよい。

[0428] 制御ユニット7は、撮像装置84が材料照射面ESを適切に撮像する(具体的には、材料照射面ESに供給された造形材料Mを適切に撮像する、以下

同じ) ことができるように、撮像条件を変更してもよい。例えば、制御ユニット7は、上述した溶融材料フィードバック制御動作を適切に行うことが可能な材料画像を撮像装置84が生成することができるように、撮像条件を変更してもよい。例えば、制御ユニット7は、上述した溶融材料フィードバック制御動作によって加工システムSYSが所望のサイズ(典型的には、所望の幅)を有する線状の造形物を造形することができる状態を実現可能な材料画像を撮像装置84が生成することができるように、撮像条件を変更してもよい。

[0429] この場合、撮像装置84は、制御ユニット7が変更した撮像条件に基づいて、材料照射面ESを撮像する。つまり、制御ユニット7は、制御ユニット7が変更した撮像条件に基づいて、材料照射面ESに供給された造形材料Mを撮像するように、撮像装置84を制御する。

[0430] 撮像条件は、撮像装置84が材料照射面ESを撮像する撮像タイミングに関する条件を含んでもよい。この場合、制御ユニット7は、撮像タイミングを変更してもよい。例えば、制御ユニット7は、図45(a)に示すように、変更前の撮像タイミングと比較して撮像タイミングが早くなるように、撮像タイミングを変更してもよい。例えば、制御ユニット7は、図45(a)に示すように、変更前の撮像タイミングと比較して撮像タイミングが遅くなるように、撮像タイミングを変更してもよい。

[0431] 撮像タイミングに関する条件は、図45(a)に示すように、撮像装置84が材料照射面ESの撮像を開始するタイミングを含んでもよい。撮像タイミングに関する条件は、図45(a)に示すように、撮像装置84が材料照射面ESの撮像を終了するタイミングを含んでもよい。撮像装置84が材料照射面ESの撮像を開始するタイミングは、撮像装置84がメカニカルシャッタの状態を閉状態から開状態に切り替えるタイミングを意味してもよい。撮像装置84が材料照射面ESの撮像を開始するタイミングは、撮像装置84が電子シャッタの状態をオフ状態からオン状態に切り替えるタイミングを意味してもよい。撮像装置84が材料照射面ESの撮像を

終了するタイミングは、撮像装置 84 がメカニカルシャッタの状態を開状態から閉状態に切り替えるタイミングを意味していてもよい。撮像装置 84 が材料照射面 E S の撮像を開始するタイミングは、撮像装置 84 が電子シャッタの状態をオン状態からオフ状態に切り替えるタイミングを意味していてもよい。

[0432] 尚、上述したように撮像装置 84 が多重露光を行っているときとみなすことができる場合には、図 45 (a) に示す撮像タイミングは、多重露光における複数回の露光のそれぞれを行うタイミングであるとみなしてもよい。つまり、図 45 (a) に示す一つのパルス状の波形は、多重露光における一回の露光が行われるタイミングを示しているときとみなしてもよい。

[0433] 撮像条件は、撮像装置 84 が材料照射面 E S を撮像するための露光時間に関する条件を含んでいてもよい。この場合、制御ユニット 7 は、露光時間を変更してもよい。例えば、制御ユニット 7 は、図 45 (b) に示すように、変更前の露光時間と比較して露光時間が短くなるように、露光時間を変更してもよい。例えば、制御ユニット 7 は、図 45 (b) に示すように、変更前の露光時間と比較して露光時間が長くなるように、露光時間を変更してもよい。

[0434] 尚、露光時間の定義については、既に説明済みであるため、その詳細な説明を省略する。図 45 (b) に示す例では、露光時間は、撮像装置 84 が材料照射面 E S の撮像を開始してから、撮像装置 84 が材料照射面 E S の撮像を終了するまでの時間を意味していてもよい。

[0435] また、上述したように撮像装置 84 が多重露光を行っているときとみなすことができる場合には、図 45 (b) に示す露光時間は、多重露光における複数回の露光のそれぞれを行う時間であるとみなしてもよい。つまり、図 45 (b) に示す一つのパルス状の波形は、多重露光における一回の露光が行われる期間を示しているときとみなしてもよい。

[0436] 撮像条件は、撮像装置 84 が材料照射面 E S を撮像する撮像周期又は撮像レートに関する条件を含んでいてもよい。この場合、制御ユニット 7 は、撮

像周期又は撮像レートを変更してもよい。例えば、制御ユニット 7 は、図 4 5 (c) に示すように、変更前の撮像周期と比較して撮像周期が長くなるように、撮像周期を変更してもよい。例えば、制御ユニット 7 は、図 4 5 (c) に示すように、変更前の撮像周期と比較して撮像周期が短くなるように、撮像周期を変更してもよい。例えば、制御ユニット 7 は、図 4 5 (c) に示すように、変更前の撮像レートと比較して撮像レートが低くなるように、撮像レートを変更してもよい。例えば、制御ユニット 7 は、図 4 5 (c) に示すように、変更前の撮像レートと比較して撮像レートが高くなるように、撮像レートを変更してもよい。

[0437] 尚、撮像周期及び撮像レートの定義については、既に説明済みであるため、その詳細な説明を省略する。図 4 5 (c) に示す例では、撮像周期は、撮像装置 8 4 が材料照射面 E S の撮像を開始してから、撮像装置 8 4 が材料照射面 E S の撮像を次に開始するまでの時間を意味していてもよい。撮像レートは、単位時間あたりに（例えば、1 秒間あたりに）撮像装置 8 4 が材料照射面 E S の撮像を開始する回数を意味していてもよい。

[0438] 尚、上述したように撮像装置 8 4 が多重露光を行っているときとみなすことができる場合には、図 4 5 (c) に示す撮像周期は、多重露光における複数回の露光のそれぞれが行われる周期であるとみなしてもよい。つまり、図 4 5 (c) に示す隣り合う二つのパルス状の波形の間の間隔は、多重露光における一回の露光が行われる周期を示しているときとみなしてもよい。また、上述したように撮像装置 8 4 が多重露光を行っているときとみなすことができる場合には、図 4 5 (c) に示す撮像レートは、多重露光において単位時間あたりに露光が行われる回数を示す指標値（尚、この指標値を、露光レートと称してもよい）であるとみなしてもよい。

[0439] 尚、撮像条件が変更されると、時系列データとしての複数の材料画像 I M G_M を生成するための撮像装置 8 4 の動作が変わる。上述したように撮像装置 8 4 が多重露光を行うことで時系列データとしての複数の材料画像 I M G_M を生成しているとみなしてもよいことを考慮すれば、撮像条件を変更

する動作は、多重露光の条件を変更する動作と等価であるとみなしてもよい。

[0440] 制御ユニット7は、加工システムS Y SによるワークWの加工条件に基づいて、撮像条件を変更してもよい。例えば、制御ユニット7は、加工システムS Y Sが第1の加工条件に基づいてワークWを加工する場合には、撮像装置84が第1の撮像条件に基づいて材料照射面E Sを撮像するように、撮像条件を変更してもよい。例えば、制御ユニット7は、加工システムS Y Sが第1の加工条件とは異なる第2の加工条件に基づいてワークWを加工する場合には、撮像装置84が第1の撮像条件とは異なる第2の撮像条件に基づいて材料照射面E Sを撮像するように、撮像条件を変更してもよい。

[0441] 制御ユニット7は、加工条件が変更された場合においても、撮像装置84が材料照射面E Sを適切に撮像することができるように、撮像条件を変更してもよい。例えば、制御ユニット7は、加工システムS Y Sが第1の加工条件に基づいてワークWを加工する場合には、第1の加工条件に基づいて加工システムS Y Sが形成する溶融材料MMを撮像装置84が適切に撮像することができるように、撮像条件を第1の撮像条件に変更してもよい。例えば、制御ユニット7は、加工システムS Y Sが第2の加工条件に基づいてワークWを加工する場合には、第2の加工条件に基づいて加工システムS Y Sが形成する溶融材料MMを撮像装置84が適切に撮像することができるように、撮像条件を第2の撮像条件に変更してもよい。

[0442] 制御ユニット7は、加工条件と撮像条件との対応関係を規定する撮像条件テーブルを用いて、加工条件に基づいて、撮像条件を変更してもよい。撮像条件テーブルは、ワークWの加工条件が一の加工条件である場合に撮像装置84が用いるべき撮像条件を指定するテーブルであってもよい。撮像条件テーブルは、ワークWの加工条件に関連付けて撮像装置84が用いるべき撮像条件に関する情報を記録するテーブルであってもよい。撮影条件テーブルは、記憶装置72に記憶（言い換えれば、記録）されていてもよい。撮像条件テーブルは、加工条件及び撮像条件の少なくとも一方を変更しながら上述し

た溶融材料フィードバック制御動作を繰り返し行うと共に、溶融材料フィードバック制御動作の結果として造形された線状の造形物の造形精度が所望精度になる状態を実現可能な加工条件と撮像条件との対応関係を特定することで、予め生成されていてもよい。

[0443] 加工条件は、加工光E Lに関する光条件を含んでいてもよい。尚、加工光E Lがエネルギービームの一例であるがゆえに、光条件は、ビーム条件と称されてもよい。光条件は、加工光E Lの強度に関する強度条件を含んでいてもよい。この場合、制御ユニット7は、ワークWを加工するためにワークWに照射される加工光E Lの強度に基づいて、撮像条件を変更してもよい。制御ユニット7は、ワークWを加工するために材料照射面E Sを通過する加工光E Lの強度に基づいて、撮像条件を変更してもよい。

[0444] 加工条件は、材料照射面E S内でのビーム通過領域P Aの移動態様（つまり、加工光E Lの移動態様）に関する移動態様条件を含んでいてもよい。この場合、制御ユニット7は、ビーム通過領域P Aの移動態様に基づいて、撮像条件を変更してもよい。ビーム通過領域P Aの移動態様は、ビーム通過領域P Aの移動速度を含んでいてもよい。ビーム通過領域P Aの移動態様は、ビーム通過領域P Aの移動の周期を含んでいてもよい。ビーム通過領域P Aの移動態様は、ビーム通過領域P Aの移動のストローク（つまり、ストローク量又はストローク幅）を含んでいてもよい。移動のストロークは、往復移動の振幅を意味していてもよい。ビーム通過領域P Aの移動態様は、ビーム通過領域P Aの移動軌跡のパターンを含んでいてもよい。

[0445] 尚、ビーム通過領域P Aを加工光E Lが通過することで材料照射面E Sにおいて造形材料Mが溶融する（つまり、溶融材料MMが形成される）がゆえに、移動態様条件は、材料照射面E S内での溶融材料MMの移動態様に関する条件と等価であるとみなしてもよい。加工光E Lが偏向されることでビーム通過領域P Aが移動するがゆえに、移動態様条件は、加工光E Lの偏向態様に関する条件と等価であるとみなしてもよい。

(5) 加工システムS Y Sの変形例

続いて、加工システムS Y Sの変形例について説明する。

(5-1) 第1変形例

- [0446] 上述した説明では、制御ユニット7は、造形面MS上に設定される加工単位領域P U A内において目標照射領域E Aが移動するようにガルバノミラー2 1 4 6及び2 1 5 6の少なくとも一方を制御しながら、造形面MS上を加工単位領域P U Aが移動するようにヘッド駆動系2 2及びステージ駆動系3 2の少なくとも一方を制御することで、造形面MS上での加工単位領域P U Aの移動方向に沿って延びる造形物を造形面MS上に造形している。
- [0447] 一方で、第1変形例では、図4 6に示すように、制御ユニット7は、加工単位領域P U A内において、所望の形状パターンを有する造形物が造形されるように、加工ユニット2を制御してもよい。図4 6に示す例では、制御ユニット7は、加工単位領域P U A内に、それぞれが所望の形状パターンを有する四つの造形物B O (B O # 1からB O # 4) が造形されるように、加工ユニット2を制御する例を示している。造形物B O # 1は、Y軸方向に沿って延びる直線状の二つの造形物と、当該直線状の二つの造形物を接続する円環形状の造形物(つまり、曲線状の造形物)とを含んでいる。造形物B O # 2は、Y軸方向に沿って延びる直線状の造形物を含んでいる。造形物B O # 3は、Y軸方向に沿って延びる直線状の造形物と、X軸方向及びY軸方向のそれぞれに交差する直線状の造形物とを含んでいる。造形物B O # 4は、X軸方向及びY軸方向のそれぞれに交差すると共に互いに交差する二つの直線状の造形物を含んでいる。
- [0448] 加工単位領域P U A内に複数の造形物B Oが造形される場合には、制御ユニット7は、複数の造形物B Oを並行して造形するように、加工ユニット2を制御してもよい。或いは、制御ユニット7は、複数の造形物B Oのうちの第1の造形物B Oを造形し、その後、複数の造形物B Oのうちの第2の造形物B Oを造形するように、加工ユニット2を制御してもよい。
- [0449] 加工単位領域P U A内に所望の形状パターンを有する造形物を造形するために、制御ユニット7は、加工単位領域P U A内においてX軸方向及びY軸

方向のそれぞれに沿って目標照射領域E Aが移動するようにガルバノミラー2 1 4 6及び2 1 5 6の少なくとも一方を制御しながら、加工単位領域P U A内において造形物B Oを造形すべき位置に目標照射領域E Aが重なるタイミングで、照射光学系2 1 1から加工光E Lを射出してもよい。一方で、制御ユニット7は、加工単位領域P U A内において造形物B Oを造形すべきではない位置に目標照射領域E Aが重なるタイミングでは、照射光学系2 1 1から加工光E Lを射出しなくてもよい。その結果、加工単位領域P U A内において、加工光E Lが照射された位置の分布パターンに応じて形状パターンを有する造形物B Oが造形される。

[0450] 各造形物B Oの幅は、造形面M S上で加工光E Lが形成するビームスポットB Sの幅と概ね同じ幅であってもよい。例えば、図4 7 (a)に示すように、制御ユニット7は、各加工単位領域P U A内でビームスポットB Sが一の方向(図4 7 (a)に示す例では、X軸方向)に沿って移動するようにガルバノミラー2 1 4 6及び2 1 5 6の少なくとも一つを制御することで、ビームスポットB Sの幅と概ね同じ幅を有し且つビームスポットB Sの移動方向に沿って延びる造形物B Oを造形してもよい。

[0451] 或いは、各造形物B Oの幅は、造形面M S上で加工光E Lが形成するビームスポットの幅よりも広い幅であってもよい。例えば、図4 7 (b)に示すように、制御ユニット7は、各加工単位領域P U A内でビームスポットB Sを一の方向(図4 7 (b)に示す例では、X軸方向)に沿って移動させる動作と、各加工単位領域P U A内でビームスポットB Sを一の方向に交差する他の方向(図4 7 (b)に示す例では、Y軸方向)に沿って移動させる動作とを交互に繰り返すようにガルバノミラー2 1 4 6及び2 1 5 6の少なくとも一つを制御することで、他の方向に沿ってビームスポットB Sの幅よりも広い幅を有し且つ一の方向に沿って延びる造形物B Oを造形してもよい。

[0452] 加工単位領域P U A内において所望の形状パターンを有する造形物B Oが造形される場合においても、制御ユニット7は、造形面M S上を加工単位領域P U Aが移動するようにヘッド駆動系2 2及びステージ駆動系3 2の少な

くとも一方を制御してもよい。つまり、制御ユニット7は、加工単位領域PUA内において所望の形状パターンを有する造形物BOを造形すると共に、造形面MS上において加工単位領域PUAを移動させてもよい。例えば、図48は、制御ユニット7が、加工単位領域PUA内において所望の形状パターンを有する造形物BOを造形すると共に、造形面MS上において加工単位領域PUAをY軸方向に沿って-Y側に向かって移動させる例を示している。その結果、加工システムSYSは、所望の形状パターンを有する造形物BOを、造形面MS上のより広い範囲に造形することができる。

[0453] 制御ユニット7は、加工単位領域PUA内において所望の形状パターンを有する造形物BOを造形する動作と、造形面MS上において加工単位領域PUAを移動させる動作とを交互に行ってもよい。例えば、制御ユニット7は、図49の1段目に示すように、造形面MS上の第1位置P11に加工単位領域PUAが位置するように、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して加工ヘッド21及びステージ31の少なくとも一方を移動させてもよい。その後、制御ユニット7は、図49の2段目に示すように、造形面MS上の第1位置P11において加工単位領域PUAが静止した状態で、第1位置P11に位置する加工単位領域PUA内において所望の形状パターンを有する造形物BOを造形するように、加工ユニット2を制御してもよい。その後、制御ユニット7は、図49の3段目に示すように、造形面MS上の第2位置P12に加工単位領域PUAが位置するように、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して加工ヘッド21及びステージ31の少なくとも一方を移動させてもよい。尚、第1位置P11に位置する加工単位領域PUAと第2位置P12に位置する加工単位領域PUAとは、加工単位領域PUAの移動方向（図49に示す例では、Y軸方向）に沿って隣接していてもよい。その後、制御ユニット7は、図49の4段目に示すように、造形面MS上の第2位置P12において加工単位領域PUAが静止した状態で、第2位置P12に位置する加工単位領域PUA内において所望の形状パターンを有する造形物BOを造形するように、

加工ユニット2を制御してもよい。この場合、制御ユニット7は、第1位置P11に位置する加工単位領域PUA内に形成された造形物BOと、第2位置P12に位置する加工単位領域PUA内に形成された造形物BOとが、加工単位領域PUAの移動方向（図49に示す例では、Y軸方向）に沿ってつながるように、第2位置P12に位置する加工単位領域PUA内において所望の形状パターンを有する造形物BOを造形してもよい。

[0454] 或いは、制御ユニット7は、加工単位領域PUA内において所望の形状パターンを有する造形物BOを造形する動作と、造形面MS上において加工単位領域PUAを移動させる動作とを並行して行ってもよい。つまり、制御ユニット7は、加工単位領域PUA内において所望の形状パターンを有する造形物BOを造形しながら、造形面MS上において加工単位領域PUAを移動させるように、加工システムSYSを制御してもよい。この場合、例えば、制御ユニット7は、図50(a)に示すように、時刻t1の時点では、時刻t1の時点で造形面MS上に設定されている加工単位領域PUA内に造形すべき造形物BOの形状パターン（図50(b)参照）に基づいて、加工単位領域PUA内に造形物BOを造形するように、加工ユニット2を制御してもよい。具体的には、制御ユニット7は、加工単位領域PUA内においてX軸方向及びY軸方向のそれぞれに沿って目標照射領域EAが移動するようにガルバノミラー2146及び2156の少なくとも一方を制御しながら、時刻t1の時点で造形面MS上に設定されている加工単位領域PUA内に造形すべき造形物BOの形状パターン（図50(b)参照）に応じたタイミングで照射光学系211から加工光ELを照射するように、加工ユニット2を制御してもよい。一方で、図50(c)に示すように、時刻t1とは異なる時刻t2の時点では、時刻t2の時点で造形面MS上に設定されている加工単位領域PUA内に造形すべき造形物BOの形状パターン（図50(d)参照）に基づいて、加工単位領域PUA内に造形物BOを造形するように、加工ユニット2を制御してもよい。具体的には、制御ユニット7は、加工単位領域PUA内においてX軸方向及びY軸方向のそれぞれに沿って目標照射

領域E Aが移動するようにガルバノミラー2 1 4 6及び2 1 5 6の少なくとも一方を制御しながら、加工時刻t 2の時点で造形面MS上に設定されている加工単位領域P U A内に造形するべき造形物B Oの形状パターン（図5 0（d）参照）に応じたタイミングで照射光学系2 1 1から加工光E Lを照射するように、加工ユニット2を制御してもよい。

[0455] ここで、図5 0（b）に示す形状パターンと図5 0（d）に示す形状パターンとは、部分的に共通している。この場合、制御ユニット7は、造形面MS上の一の位置に一の造形物B Oの一の部分を造形するために、時刻t 1において一の部分を造形するために造形面MSの一の位置に加工光E Lを照射し、且つ、時刻t 2において同じ一の部分を造形するために造形面MSの同じ一の位置に加工光E Lを照射するように、加工ユニット2を制御してもよい。このため、加工単位領域P U A内において所望の形状パターンを有する造形物B Oを造形する動作と、造形面MS上において加工単位領域P U Aを移動させる動作とが並行して行われる場合には、造形物B Oの各部分は、加工光E Lの複数回の照射によって造形されてもよい。

[0456] 尚、加工単位領域P U A内において所望の形状パターンを有する造形物B Oを造形する動作と、造形面MS上において加工単位領域P U Aを移動させる動作とが並行して行われる場合には、加工光E Lの照射タイミングを決定するために用いる造形物B Oの形状パターンは、造形面MS上に造形するべき造形物B Oの実際の形状パターンとは異なっていてもよい。例えば、図5 1に示すように、加工光E Lの照射タイミングを決定するために用いる造形物B Oの形状パターンは、造形面MS上に造形するべき造形物B Oの実際の形状パターンを、加工単位領域P U Aの移動方向に沿って圧縮することで得られる形状パターンであってもよい。加工光E Lの照射タイミングを決定するために用いる造形物B Oの形状パターンは、造形面MS上に造形するべき造形物B Oの実際の形状パターンを、加工単位領域P U Aの移動方向に沿って、加工単位領域P U Aの移動速度に応じた圧縮率で圧縮することで得られる形状パターンであってもよい。この場合、加工単位領域P U A内において

所望の形状パターンを有する造形物B Oを造形する動作と、造形面MS上において加工単位領域P U Aを移動させる動作とが並行して行われる場合であっても、加工システムS Y Sは、造形面MS上に、造形面MS上に造形すべき形状パターンと同じ形状パターンを有する造形物B Oを造形することができる。

[0457] また、加工単位領域P U A内において所望の形状パターンを有する造形物B Oを造形する動作と、造形面MS上において加工単位領域P U Aを移動させる動作とが並行して行われる場合には、制御ユニット7は、上述したように、加工単位領域P U A内においてX軸方向及びY軸方向のそれぞれに沿って目標照射領域E Aが移動するようにガルバノミラー2 1 4 6及び2 1 5 6の少なくとも一方を制御しながら、加工単位領域P U A内に造形すべき造形物B Oの形状パターンに応じたタイミングで照射光学系2 1 1から加工光E Lを照射するように、加工ユニット2を制御している。この場合、制御ユニット7、加工単位領域P U A内において、目標照射領域E AをX軸方向及びY軸方向のいずれか一方であるスキャン移動方向に沿って移動させるスキャン動作と、目標照射領域E AをX軸方向及びY軸方向のいずれか他方であるステップ移動方向に沿って所定のステップ移動量だけ移動させるステップ動作とを交互に行う。その結果、スキャン動作とステップ動作との繰り返しに起因して、加工単位領域P U A内の一の位置に目標照射領域E Aが位置するタイミングと、加工単位領域P U A内の他の位置に目標照射領域E Aが位置するタイミングとは異なる。その結果、図5 2に示すように、造形面MS上に造形される造形物B Oの形状パターンが、ステップ移動方向及びステップ移動方向のそれぞれに沿って歪む可能性がある。このため、加工光E Lの照射タイミングを決定するために用いる造形物B Oの形状パターンは、造形面MS上に造形すべき造形物B Oの実際の形状パターンを、造形面MS上に造形される造形物B Oの形状パターンに生ずる歪みを相殺することが可能な変形態様で変形することで得られる形状パターンであってもよい。

(5-2) 第2変形例

[0458] 第2変形例では、制御ユニット7は、造形面MS上に造形すべき構造層SLの形状に基づいて、加工単位領域PUAの幅wdを変更しながら、構造層SLを造形するように、加工システムSYSを制御してもよい。以下の説明では、説明の便宜上、図6(a)に示すように、加工単位領域PUAが造形面MS上で静止している（つまり、移動していない）と仮定した状況下において、加工単位領域PUA内において、目標照射領域EAが、造形面MSに沿った単一の走査方向に沿って移動する例について説明する。但し、加工単位領域PUAが造形面MS上で静止している（つまり、移動していない）と仮定した状況下において、加工単位領域PUA内において、目標照射領域EAが、造形面MSに沿った複数の走査方向のそれぞれに沿って移動する場合（例えば、図6(a)及び図6(b)参照）においても、以下に示す動作が行われてもよい。この場合、図6(a)に示すように、加工単位領域PUAの幅wdは、目標照射領域EAの移動ストローク量と等価である。加工単位領域PUAの幅wdは、目標照射領域EAの振幅と等価である。尚、加工単位領域PUAの幅wdは、図6(a)及び図6(b)に示すように、造形面MS上での加工単位領域PUAの移動方向に交差する方向における加工単位領域PUAのサイズを意味していてもよい。

[0459] ここで、造形面MS上において加工単位領域PUAを移動させることで造形面MS上に造形される造形物の幅（ビード幅）Dは、加工単位領域PUAの幅wdに依存する。具体的には、図53(a)に示すように、目標移動軌跡MTOに沿って加工単位領域PUAが移動すると、造形面MS上には、目標移動軌跡MTOに交差する方向に沿って幅を有する造形物が造形面MS上に造形される。例えば、図53(a)に示すように、加工単位領域PUAがY軸方向に沿って移動する場合には、図53(b)に示すように、造形面MS上には、X軸方向に沿って幅を有すると共にY軸方向に沿って延びる線状の造形物が造形される。この場合、造形物の幅Dは、加工単位領域PUAの幅wdに依存する。例えば、加工単位領域PUAの幅wdが広くなるほど、造形物の幅Dが広くなる。例えば、加工単位領域PUAの幅wdが狭くなる

ほど、造形物の幅Dが狭くなる。

[0460] このため、加工単位領域PUAの幅wdが変わると、造形物の幅Dが変わる。第2変形例では、制御ユニット7は、構造層SLの形状に基づいて、加工単位領域PUAの幅wdを変更することで、造形物の幅Dを適切な幅に設定してもよい。

[0461] 一例として、図54(a)は、Y軸方向に沿って、X軸方向に沿った幅が徐々に狭くなった後にX軸方向に沿った幅が徐々に広がる構造層SLを示している。この場合、図54(b)に示すように、制御ユニット7は、Y軸方向に沿って加工単位領域PUAを移動させながら、Y軸方向に沿った加工単位領域PUAの移動に合わせて、X軸方向に沿った加工単位領域PUAの幅wdが徐々に狭くなった後にX軸方向に沿った加工単位領域PUAの幅wdが徐々に広がるように、加工単位領域PUAの幅wdを変更してもよい。その結果、加工システムSYSは、図54(a)に示す構造層SLを造形することができる。

[0462] 制御ユニット7は、図54(a)に示す比較的単純な形状を有する構造層SLを形成する場合のみならず、図55(a)に示す比較的複雑な形状を有する構造層SLを形成する場合において、構造層SLの形状に基づいて、加工単位領域PUAの幅wdを変更してもよい。この場合、例えば、図55(b)に示すように、制御ユニット7は、構造層SLの形状に基づいて加工単位領域PUAの幅wdを変更しながら加工単位領域PUAを一の方向(例えば、Y軸方向)に沿って移動させるスキャン移動動作と、加工単位領域PUAを一の方向に交差する他の方向(例えば、X軸方向)に沿って移動させるステップ移動動作とを繰り返してもよい。その結果、加工システムSYSは、図55(a)に示す比較的複雑な形状を有する構造層SLであっても造形することができる。

(5-3) 第3変形例

[0463] 上述した説明では、加工ユニット2は、図1に示すように、複数の異なる材料供給方向のそれぞれに沿って造形材料Mを供給可能な材料供給口212

1が形成された単一の材料ノズル212を備えている。しかしながら、加工ユニット2は、単一の材料供給方向に沿って造形材料Mを供給可能な材料ノズル212aを複数備えていてもよい。一例として、複数の材料ノズル212aを示す側面図である図56(a)に示すように、加工ユニット2は、造形材料Mを供給可能な三つの材料ノズル212aを備えていてもよい。この場合、加工ユニット2は、複数の材料ノズル212aを用いて、材料供給口2121が形成された単一の材料ノズル212aを用いる場合と同様の供給態様で造形材料Mを供給してもよい。例えば、加工ユニット2は、複数の材料ノズル212aからそれぞれ異なる材料供給方向に沿って造形材料Mが供給されるように、造形材料Mを供給してもよい。例えば、加工ユニット2は、複数の材料供給方向に沿ってそれぞれ延びる複数の材料供給軸SXが交差する（つまり、材料制御点MCPにおいて交差する）ように、造形材料Mを供給してもよい。

[0464] ここで、複数の材料ノズル212aのそれぞれの材料供給軸SXと加工光EL（照射光学系211の光軸AX）とが交差する位置は、図56(a)に示したように1点でなくてもよい。第1の材料ノズル212aの材料供給軸SXと加工光EL（照射光学系211の光軸AX）とが交差する位置と、第2の材料ノズル212aの材料供給軸SXと加工光EL（照射光学系211の光軸AX）とが交差する位置とは、照射光学系211の光軸AX方向において異なってもよい。この場合、加工ユニット2は、複数の材料制御点MCPを備えているとみなしてもよい。例えば、加工ユニット2は、第1の材料ノズル212aの材料供給軸SXと加工光EL（照射光学系211の光軸AX）とが交差する点に相当する材料制御点MCPと、第2の材料ノズル212aの材料供給軸SXと加工光EL（照射光学系211の光軸AX）とが交差する点に相当する材料供給点MCPとを備えているとみなしてもよい。

[0465] また、複数の材料ノズル212aは、同時に造形材料Mを供給しなくてもよい。例えば、制御ユニット7は、造形材料Mを実際に供給する材料ノズル

212aを、複数の材料ノズル212aの間で切り替えてもよい。この場合、第1の材料ノズル212aの材料供給軸SXと照射光学系211の光軸AXとが交差する位置と第2の材料ノズル212aの材料供給軸SXと照射光学系211の光軸AXとが交差する位置が異なる場合には、制御ユニット7は、造形材料Mを実際に供給する材料ノズル212aを切り替えることで、材料制御点MCPの位置（典型的には、光軸AXに沿った方向の位置）を変えることができる。つまり、制御ユニット7は、材料ノズル212a（材料供給部材）と造形面MS（物体）との間の距離を変えることなく、材料制御点MCPと造形面MS（物体）との間の距離を変更することができる。尚、制御ユニット7は、造形材料Mを実際に供給する材料ノズル212aを切り替える動作と、材料ノズル212a（材料供給部材）と造形面MS（物体）との間の距離を変更する動作とを併用してもよい。また、複数の材料制御点MCPのうちの一の材料制御点MCPが造形面MS上に位置していてもよいし、複数の材料制御点MCPのうち他の材料制御点MCPが、複数の材料ノズル212aと造形面MSとの間の空間（材料供給部材と物体との間の空間）に位置していてもよい。

[0466] 尚、加工ユニット2が光軸AX方向において複数の材料制御点MCPを備える場合、加工ユニット2は、複数の材料制御点MCPのうち二つ以上の材料制御点MCPに同時に造形材料Mを供給してもよい。

[0467] また、複数の材料ノズル212aから同一種類の造形材料が供給されなくてもよい。例えば、第1の材料ノズル212aから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供給されてもよい。第2の材料ノズル212aから粉粒体である造形材料Mが供給されてもよい。

[0468] 或いは、材料ノズル212aを示す側面図である図56(b)に示すように、加工ユニット2は、単一の材料供給方向に沿って造形材料Mを供給可能な単一の材料ノズル212aを備えていてもよい。

[0469] 上述した説明では、材料ノズル212は、材料ノズル212の材料供給口2121から、Z軸（つまり、照射光学系211の光軸AXに沿った軸）に

対して傾斜した材料供給方向に沿って造形材料Mが供給されるように、造形材料Mを供給している。しかしながら、材料ノズル212は、材料供給口2121から、Z軸（つまり、照射光学系211の光軸AXに沿った軸）に沿った材料供給方向に沿って造形材料Mが供給されるように、造形材料Mを供給してもよい。単一の材料供給方向に沿って造形材料Mを供給可能な材料ノズル212aが用いられる場合においても、材料ノズル212aを示す側面図である図56(c)に示すように、材料ノズル212aは、Z軸（つまり、照射光学系211の光軸AXに沿った軸）に沿った材料供給方向に沿って造形材料Mが供給されるように、造形材料Mを供給してもよい。この場合には、照射光学系211は、Z軸（つまり、照射光学系211の光軸AXに沿った軸）に対して傾斜した進行方向に沿って加工光ELが進行するように、加工光ELを射出してもよい。つまり、照射光学系211は、造形材料Mの材料供給方向とは異なる方向に沿って加工光ELが進行するように、加工光ELを射出してもよい。

(5-4) その他の変形例

- [0470] 上述した説明では、加工ユニット2は、ガルバノミラー2146及び2156を用いて加工光ELの射出方向を変更している。しかしながら、加工ユニット2は、ガルバノミラー2146及び2156に加えて又は代えて、ポリゴンミラー及びレゾナントミラーの少なくとも一つを用いて加工光ELの射出方向を変更してもよい。
- [0471] 上述した説明では、加工ユニット2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、加工ユニット2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。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。
- [0472] 上述した説明では、加工ユニット2は、レーザ肉盛溶接法に基づく付加加工を行うことで、三次元構造物STを造形している。しかしながら、加工ユ

ニット2は、三次元構造物STを造形可能なその他の方式に準拠した付加加工を行うことで、三次元構造物STを造形してもよい。三次元構造物STを造形可能なその他の方式の一例として、粉末焼結積層造形法（SLS：Selective Laser Sintering）等の粉末床熔融結合法（Powder Bed Fusion）、結合材噴射法（バインダージェットティング方式：Binder Jetting）、材料噴射法（マテリアルジェットティング方式：Material Jetting）、光造形法及びレーザメタルフュージョン法（LMF：Laser Metal Fusion）のうちの少なくとも一つがあげられる。

[0473] 加工システムSYSは、付加加工と除去加工との双方を行ってもよい。例えば、加工システムSYSは、加工光EL#1及びEL#2のいずれか一方を用いて付加加工を行うと共に、加工光EL#1及びEL#2のいずれか他方を用いて除去加工を行ってもよい。この場合、加工システムSYSは、付加加工と除去加工とを同時に行うことができる。尚、加工システムSYSが付加加工と除去加工とを同時に行わなくてもよい場合には、加工システムSYSは、同じ加工光ELを用いて、付加加工と除去加工とを行ってもよい。

[0474] 加工システムSYSは、付加加工及び除去加工の少なくとも一方に加えて、付加加工又は除去加工によって加工されたワークW（或いは、ワークWに造形された造形物）の表面の平面度を小さくする（つまり、表面粗さを小さくする、表面を平面に近づける）ためのリメルト加工を行ってもよい。例えば、加工システムSYSは、加工光EL#1及びEL#2のいずれか一方を用いて付加加工及び除去加工の少なくとも一方を行うと共に、加工光EL#1及びEL#2のいずれか他方を用いてリメルト加工を行ってもよい。この場合、加工システムSYSは、付加加工及び除去加工の少なくとも一方とリメルト加工とを同時に行うことができる。尚、加工システムSYSが付加加工及び除去加工の少なくとも一方とリメルト加工とを同時に行わなくてもよい場合には、加工システムSYSは、同じ加工光ELを用いて、付加加工及び除去加工の少なくとも一方とリメルト加工とを行ってもよい。

[0475] 上述した加工ユニット2（特に、加工ヘッド21）は、ロボット（典型的には多関節ロボット）に取り付けられてもよい。例えば、加工ユニット2（特に、加工ヘッド21）は、溶接を行うための溶接ロボットに取り付けられてもよい。例えば、加工ユニット2（特に、加工ヘッド21）は、自走可能なモバイルロボットに取り付けられてもよい。

[0476] （6）付記

以上説明した実施形態に関して、更に以下の付記を開示する。

[付記1]

造形材料を供給する材料供給部材と、エネルギービームを射出する照射装置とを備え、前記材料供給部材から供給された前記造形材料を前記照射装置から射出された前記エネルギービームで溶融することで、物体上に造形物を造形する付加加工を行う加工装置と、

前記加工装置を制御可能な制御装置と

を備え、

前記制御装置は、前記材料供給部材と前記物体との間の空間に供給された前記造形材料に前記エネルギービームを照射することで前記造形材料を溶融し、溶融した前記造形材料を前記物体に供給することで前記物体上に前記造形物を造形するように、前記加工装置を制御し、

前記制御装置は、前記材料供給部材からの前記造形材料の供給方向に基づいて、前記造形材料に前記エネルギービームを照射するように制御することで、前記エネルギービームの照射によって溶融した前記造形材料の供給方向を、前記エネルギービームが照射される前の前記造形材料の供給方向から変更する加工システム。

[付記2]

前記制御装置は、前記エネルギービームの照射によって前記造形材料が溶融する際に発生する反跳力を用いて、前記エネルギービームの照射によって溶融した前記造形材料の供給方向を変更する

付記1に記載の加工システム。

[付記 3]

前記制御装置は、前記エネルギービームの照射によって溶融した前記造形材料の供給量の前記物体の表面上での分布の目標分布に基づいて、前記エネルギービームの照射によって溶融した前記造形材料の供給方向を変更する

付記 1 又は 2 に記載の加工システム。

[付記 4]

前記制御装置は、溶融した前記造形材料の供給方向を変更した場合における前記物体の表面上の第 1 領域に供給される前記造形材料の供給量と前記第 1 領域とは異なる前記物体の表面上の第 2 領域に供給される前記造形材料の供給量との差分が、溶融した前記造形材料の供給方向を変更しないと仮定した場合における前記第 1 領域に供給される前記造形材料の供給量と前記第 2 領域に供給される前記造形材料の供給量との差分よりも小さくなるように、前記エネルギービームの照射によって溶融した前記造形材料の供給方向を変更する

付記 1 から 3 のいずれか一項に記載の加工システム。

[付記 5]

前記制御装置は、前記空間における前記エネルギービームのビーム経路を設定する

付記 1 から 4 のいずれか一項に記載の加工システム。

[付記 6]

前記照射装置は、前記照射装置の光軸に交差する面内で前記エネルギービームの通過領域が移動するように前記エネルギービームを偏向可能な偏向光学系を備え、

前記制御装置は、前記偏向光学系を用いて前記空間における前記エネルギービームを移動させることで、前記エネルギービームの照射によって溶融した前記造形材料の供給方向を変更する

付記 5 に記載の加工システム。

[付記 7]

前記照射装置は、前記照射装置の光軸に交差する面内で前記エネルギービームの照射位置が移動するように前記エネルギービームを偏向可能な偏向光学系を備え、

前記制御装置は、前記エネルギービームを偏向しながら、前記空間において前記造形材料に前記エネルギービームを照射することで前記造形材料を溶融するように、前記加工装置を制御する

付記 1 から 6 のいずれか一項に記載の加工システム。

[付記 8]

前記材料供給部材は、前記空間に互いに異なる方向から前記造形材料を供給し、

前記照射装置は、互いに異なる方向から供給される前記造形材料が交差する位置で前記造形材料を溶融する

付記 1 から 7 のいずれか一項に記載の加工システム。

[付記 9]

前記材料供給部材は、前記物体の前記表面と交差する方向から前記造形材料を前記表面上の材料供給位置に供給し、

前記照射装置は、前記材料供給位置とは異なる方向に向かうエネルギービームを用いて前記空間で前記造形材料を溶融する

付記 1 から 8 のいずれか一項に記載の加工システム。

[付記 10]

材料供給部材から造形材料を供給することと、

照射装置からエネルギービームを射出することと、

前記材料供給部材と前記物体との間の空間において前記材料供給部材から供給された前記造形材料を前記照射装置から射出された前記エネルギービームで溶融して、物体上に造形物を造形する付加加工を行うことと

を含み、

前記付加加工を行うことは、前記材料供給部材からの前記造形材料の供給方向に基づいて、前記造形材料に前記エネルギービームを照射して、前記エネ

ルギビームの照射によって溶融した前記造形材料の供給方向を、前記エネルギービームが照射される前の前記造形材料の供給方向から変更することを含む加工方法。

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。

[0477] 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及び加工方法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

- [0478] SYS 加工システム
- 2 加工ユニット
 - 2 1 加工ヘッド
 - 2 1 1 照射光学系
 - 2 1 2 材料ノズル
 - 2 1 4 6、2 1 5 6 ガルバノミラー
 - 2 1 6 2 f θ レンズ
 - 2 1 2 材料ノズル
 - 2 2 ヘッド駆動系
 - 2 3 ノズル駆動系
 - 3 ステージユニット
 - 3 1 ステージ
 - 3 2 ステージ駆動系
 - 8 1 分離装置
 - 8 3 計測装置

84 撮像装置

W ワーク

M 造形材料

M S A 材料供給領域

M C P 材料制御点

M S 造形面

P L 材料供給面

E S 材料照射面

E L 加工光

C P フォーカス位置

E A 目標照射領域

P U A 加工単位領域

M U A 照射単位領域

M P 溶融池

請求の範囲

- [請求項1] 造形材料を供給する材料供給部材と、エネルギービームを射出する照射装置とを備え、前記材料供給部材から供給された前記造形材料を前記照射装置から射出された前記エネルギービームで溶融することで、物体上に造形物を造形する付加加工を行う加工装置と、
前記加工装置を制御可能な制御装置と
を備え、
前記材料供給部材は、前記材料供給部材と前記物体との間の空間において前記照射装置の光軸と交差する面内の材料供給領域に前記造形材料を供給し、
前記制御装置による前記加工装置の制御は、前記材料供給領域の形状及びサイズの少なくとも一方に基づく、前記照射装置からの前記エネルギービームのビーム経路の制御を含む
加工システム。
- [請求項2] 前記材料供給部材は、前記空間に互いに異なる方向から前記造形材料を供給し、
前記照射装置は、互いに異なる方向から供給される前記造形材料が交差する位置で前記造形材料を溶融する
請求項1に記載の加工システム。
- [請求項3] 前記材料供給部材は、前記物体の前記表面と交差する方向から前記造形材料を前記表面上の材料供給位置に供給し、
前記照射装置は、前記材料供給位置とは異なる方向に向かうエネルギービームを用いて前記空間で前記造形材料を溶融する
請求項1又は2に記載の加工システム。
- [請求項4] 前記照射装置は、前記面内で前記エネルギービームが通過するビーム通過領域が移動するように前記エネルギービームを偏向可能な偏向光学系を備え、
前記制御装置は、前記エネルギービームを偏向しながら、前記空間に

において前記造形材料に前記エネルギービームを照射することで前記造形材料を溶融するように、前記加工装置を制御する

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] 前記制御装置による前記ビーム経路の制御は、前記面内で前記エネルギービームが通過するビーム通過領域の移動軌跡の制御を含む

請求項 4 に記載の加工システム。

[請求項6] 前記制御装置は、前記面内での前記ビーム通過領域の移動軌跡が、リサージュ曲線の少なくとも一部を含むように、前記移動軌跡を制御する

請求項 5 に記載の加工システム。

[請求項7] 前記制御装置は、前記面内で前記ビーム通過領域が移動している期間中における前記エネルギービームの強度を制御する

請求項 4 から 6 のいずれか一項に記載の加工システム。

[請求項8] 前記エネルギービームの強度の制御は、前記期間中における前記エネルギービームの前記強度の変更を含む

請求項 7 に記載の加工システム。

[請求項9] 前記制御装置による前記ビーム経路の制御は、前記面内での前記エネルギービームのスポットのサイズ及び形状の少なくとも一方の制御を含む

請求項 2 から 8 のいずれか一項に記載の加工システム。

[請求項10] 前記制御装置に前記ビーム経路の制御は、前記面内での前記エネルギービームの通過領域の移動速度の制御を含む

請求項 2 から 9 のいずれか一項に記載の加工システム。

[請求項11] 前記移動速度の制御は、前記面内で前記エネルギービームの通過領域が移動している期間中における前記通過領域の移動速度の変更を含む

請求項 10 に記載の加工システム。

[請求項12] 前記制御装置による前記ビーム経路の制御は、前記面内において前記造形材料に照射される前記エネルギービームの数の制御を含む

請求項 2 から 1 1 のいずれか一項に記載の加工システム。

[請求項13] 前記制御装置は、前記面内における前記エネルギービームの通過領域の移動範囲であるビーム照射領域が前記材料供給領域に対して占める割合が第 1 閾値を超えるように、前記ビーム経路を制御する

請求項 2 から 1 2 のいずれか一項に記載の加工システム。

[請求項14] 前記制御装置は、前記面内での前記エネルギービームの通過領域のサイズと、前記面内での前記エネルギービームの通過領域の移動速度と、前記面内において前記造形材料に照射される前記エネルギービームの数とを掛け合わせることで得られる値が第 2 閾値を上回るように、前記前記ビーム経路を制御する

請求項 2 から 1 3 のいずれか一項に記載の加工システム。

[請求項15] 前記第 2 閾値は、前記材料供給領域のサイズに基づいて設定される請求項 1 4 に記載の加工システム。

[請求項16] 前記材料供給部材と前記物体との間の空間において前記造形材料を撮像する撮像装置を備える

請求項 1 から 1 5 のいずれか一項に記載の加工システム。

[請求項17] 前記材料供給領域の前記形状及び前記サイズの少なくとも一方は、前記撮像装置による前記造形材料の撮像結果から求められる

請求項 1 6 に記載の加工システム。

[請求項18] 前記材料供給部材と前記物体との間の空間における前記造形材料を照明する照明装置を備える

請求項 1 6 又は 1 7 に記載の加工システム。

[請求項19] 造形材料を供給する材料供給部材と、エネルギービームを射出する照射装置とを備え、前記材料供給部材から供給された前記造形材料を前記照射装置から射出された前記エネルギービームで溶融することで、物体上に造形物を造形する付加加工を行う加工装置と、

前記加工装置を制御可能な制御装置と

を備え、

前記材料供給部材は、前記材料供給部材と前記物体との間の空間において前記照射装置の光軸と交差する面内の材料供給領域に前記造形材料を供給し、

前記制御装置は、前記エネルギービームの照射態様に基づいて、前記材料供給部材からの前記造形材料の供給態様を制御する加工システム。

[請求項20] 前記材料供給部材は、前記空間に互いに異なる方向から前記造形材料を供給し、

前記照射装置は、互いに異なる方向から供給される前記造形材料が交差する位置で前記造形材料を溶融する

請求項19に記載の加工システム。

[請求項21] 前記材料供給部材は、前記物体の前記表面と交差する方向から前記造形材料を前記表面上の材料供給位置に供給し、

前記照射装置は、前記材料供給位置とは異なる方向に向かうエネルギービームを用いて前記空間で前記造形材料を溶融する

請求項19又は20に記載の加工システム。

[請求項22] 前記照射装置は、前記面において前記エネルギービームを前記造形材料に照射して前記造形材料を溶融し、

前記制御装置は、前記面における前記エネルギービームの照射態様に基づいて、前記面における前記造形材料の供給態様を制御する

請求項19から21のいずれか一項に記載の加工システム。

[請求項23] 前記照射装置は、前記面内で前記エネルギービームの通過領域が移動するように前記エネルギービームを偏向可能な偏向光学系を備え、

前記制御装置は、前記エネルギービームを偏向しながら、前記空間において前記造形材料に前記エネルギービームを照射することで前記造形材料を溶融するように、前記加工装置を制御する

請求項22に記載の加工システム。

[請求項24] 前記面における前記エネルギービームの態様は、前記面内において移

動する前記通過領域の移動軌跡のサイズを含み、

前記制御装置は、前記通過領域の前記移動軌跡のサイズに基づいて、前記材料供給領域のサイズを制御する

請求項 2 3 に記載の加工システム。

[請求項25]

前記制御装置は、前記空間における前記造形材料の供給態様を制御した後における前記通過領域の前記移動軌跡のサイズと前記材料供給領域のサイズとの差分が、前記空間における前記造形材料の供給態様を制御しないと仮定した場合における前記通過領域の前記移動軌跡のサイズと前記材料供給領域のサイズとの差分よりも小さくなるように、前記空間における前記造形材料の供給態様を制御する

請求項 2 4 に記載の加工システム。

[請求項26]

前記制御装置は、前記移動軌跡のサイズと前記材料供給領域のサイズとが一致するように、前記空間における前記造形材料の供給態様を制御する

請求項 2 4 又は 2 5 に記載の加工システム。

[請求項27]

前記制御装置は、前記材料供給部材から供給される前記造形材料の供給量を制御することで、前記空間における前記造形材料の供給態様を制御する

請求項 1 9 から 2 6 のいずれか一項に記載の加工システム。

[請求項28]

前記加工装置は、前記材料供給部材から供給される前記造形材料に向けて気体を供給可能な気体供給部材を備え、

前記制御装置は、前記気体供給部材から供給される前記気体の供給量を制御することで、前記空間における前記造形材料の供給態様を制御する

請求項 1 9 から 2 7 のいずれか一項に記載の加工システム。

[請求項29]

前記制御装置は、前記照射装置の光軸に沿った方向における前記材料供給部材と前記物体との間の距離を変更することで、前記空間における前記造形材料の供給態様を制御する

請求項 19 から 28 のいずれか一項に記載の加工システム。

[請求項30]

前記加工装置は、前記照射装置の光軸に沿った方向における前記材料供給部材と前記物体との間の距離を計測する計測装置を備え、

前記制御装置は、前記計測装置の計測結果に基づいて、前記照射装置の光軸に沿った方向における前記材料供給部材と前記物体との間の距離を制御する

請求項 29 に記載の加工システム。

[請求項31]

造形材料を供給する材料供給部材と、エネルギービームを射出する照射装置とを備え、前記材料供給部材から供給された前記造形材料を前記照射装置から射出された前記エネルギービームで溶融することで、物体上に造形物を造形する付加加工を行う加工装置と、

前記加工装置を制御可能な制御装置と
を備え、

前記制御装置は、前記材料供給部材と前記物体との間の空間に供給された前記造形材料に前記エネルギービームを照射することで前記造形材料を溶融し、溶融した前記造形材料を前記物体に供給することで前記物体上に前記造形物を造形するように、前記加工装置を制御し、

前記制御装置は、前記空間に供給される前記造形材料の供給態様に基づいて、前記造形材料に照射される前記エネルギービームを制御する加工システム。

[請求項32]

前記制御装置は、前記空間において前記照射装置の光軸に交差する面内の材料供給領域に前記造形材料を供給し、

前記供給態様は、前記材料供給領域の形状及びサイズの少なくとも一方を含み、

前記エネルギービームの制御は、前記照射装置からの前記エネルギービームのビーム経路の制御を含む

請求項 31 に記載の加工システム。

[請求項33]

前記制御装置は、前記空間における前記造形材料の供給方向に基づ

いて、前記造形材料に前記エネルギービームを照射するように制御することで、前記エネルギービームの照射によって熔融した前記造形材料の供給方向を、前記エネルギービームが照射される前の前記造形材料の供給方向から変更する

請求項 3 1 又は 3 2 に記載の加工システム。

[請求項34]

造形材料を供給する材料供給部材と、エネルギービームを射出する照射装置とを備え、前記材料供給部材から供給された前記造形材料を前記照射装置から射出された前記エネルギービームで熔融することで、物体上に造形物を造形する付加加工を行う加工装置と、

前記加工装置を制御可能な制御装置と

を備え、

前記材料供給部材は、前記材料供給部材と前記物体との間の空間において前記照射装置の光軸と交差する面内の材料供給領域に前記造形材料を供給し、

前記制御装置による前記加工装置の制御は、前記材料供給領域の形状及びサイズの少なくとも一方に基づく、前記照射装置からの前記エネルギービームの照射の制御を含む

加工システム。

[請求項35]

前記材料供給部材は、前記空間に互いに異なる方向から前記造形材料を供給し、

前記照射装置は、互いに異なる方向から供給される前記造形材料が交差する位置で前記造形材料を熔融する

請求項 3 1 から 3 4 のいずれか一項に記載の加工システム。

[請求項36]

前記材料供給部材は、前記物体の前記表面と交差する方向から前記造形材料を前記表面上の材料供給位置に供給し、

前記照射装置は、前記材料供給位置とは異なる方向に向かうエネルギービームを用いて前記空間で前記造形材料を熔融する

請求項 3 1 から 3 5 のいずれか一項に記載の加工システム。

[請求項37]

材料供給部材から造形材料を供給することと、
照射装置からエネルギービームを射出することと、
前記材料供給部材から供給された前記造形材料を前記照射装置から
射出された前記エネルギービームで溶融して、物体上に造形物を造形す
る付加加工を行うことと
を含み、
前記造形材料を供給することは、前記材料供給部材と前記物体との
間の空間において前記照射装置の光軸と交差する面内の材料供給領域
に前記造形材料を供給することを含み、
前記付加加工を行うことは、前記材料供給領域の形状及びサイズの
少なくとも一方に基づいて、前記照射装置からの前記エネルギービーム
のビーム経路を設定することを含む
加工方法。

[請求項38]

材料供給部材から造形材料を供給することと、
照射装置からエネルギービームを射出することと、
前記材料供給部材から供給された前記造形材料を前記照射装置から
射出された前記エネルギービームで溶融して、物体上に造形物を造形す
る付加加工を行うことと
を含み、
前記造形材料を供給することは、
前記材料供給部材と前記物体との間の空間において前記照射装置の
光軸と交差する面内の材料供給領域に前記造形材料を供給することと
、
前記エネルギービームの態様に基づいて、前記材料供給部材からの前
記造形材料の供給態様を設定することと
を含む加工方法。

[請求項39]

材料供給部材から造形材料を供給することと、
照射装置からエネルギービームを射出することと、

前記材料供給部材と前記物体との間の空間において前記材料供給部材から供給された前記造形材料を前記照射装置から射出された前記エネルギービームで溶融して、物体上に造形物を造形する付加加工を行うことと

を含み、

前記付加加工を行うことは、前記空間に供給される前記造形材料の態様に基づいて、前記造形材料に照射される前記エネルギービームを設定することを含む

加工方法。

[請求項40]

材料供給部材から造形材料を供給することと、

照射装置からエネルギービームを射出することと、

前記材料供給部材から供給された前記造形材料を前記照射装置から射出された前記エネルギービームで溶融して、物体上に造形物を造形する付加加工を行うことと

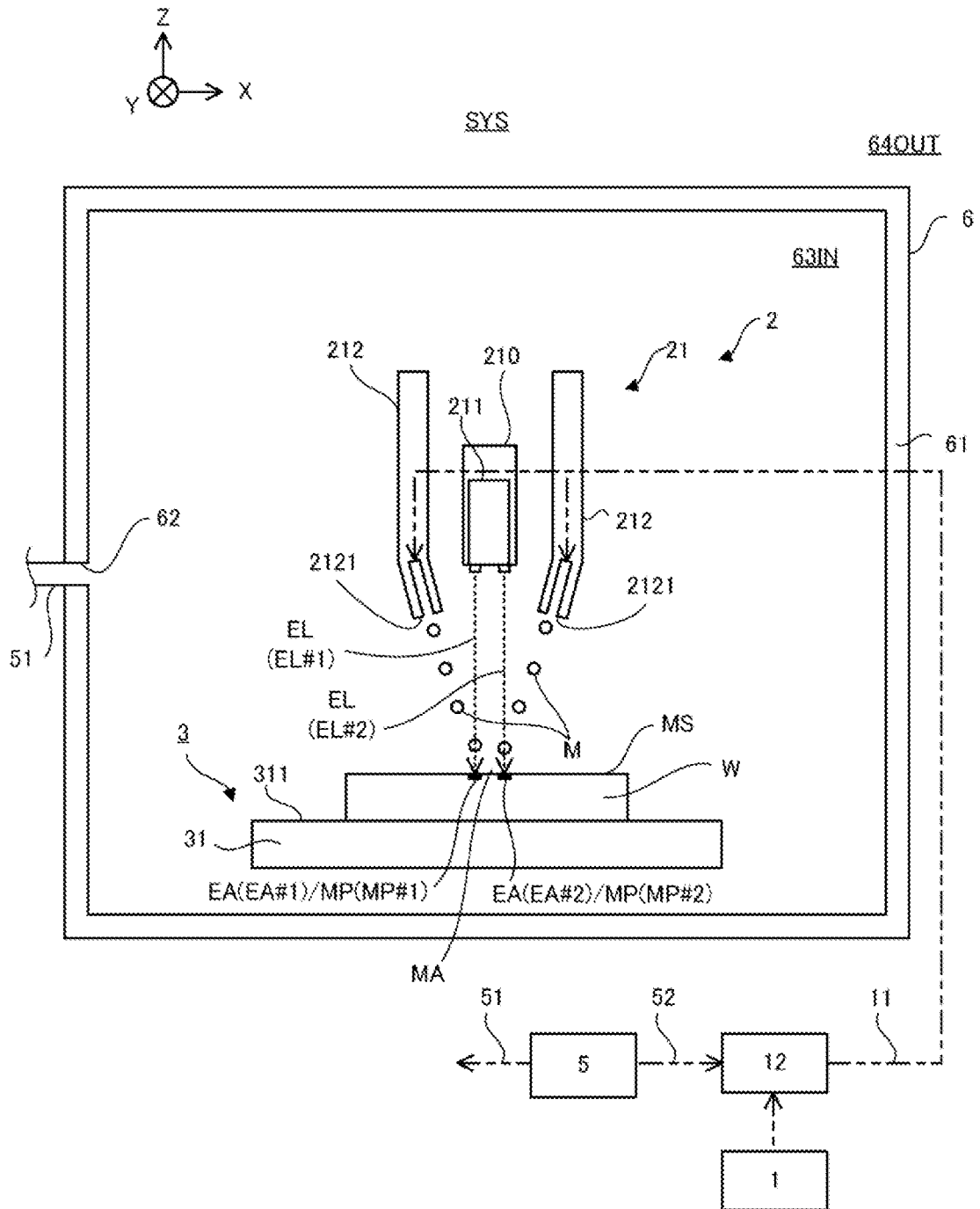
を含み、

前記造形材料を供給することは、前記材料供給部材と前記物体との間の空間において前記照射装置の光軸と交差する面内の材料供給領域に前記造形材料を供給することを含み、

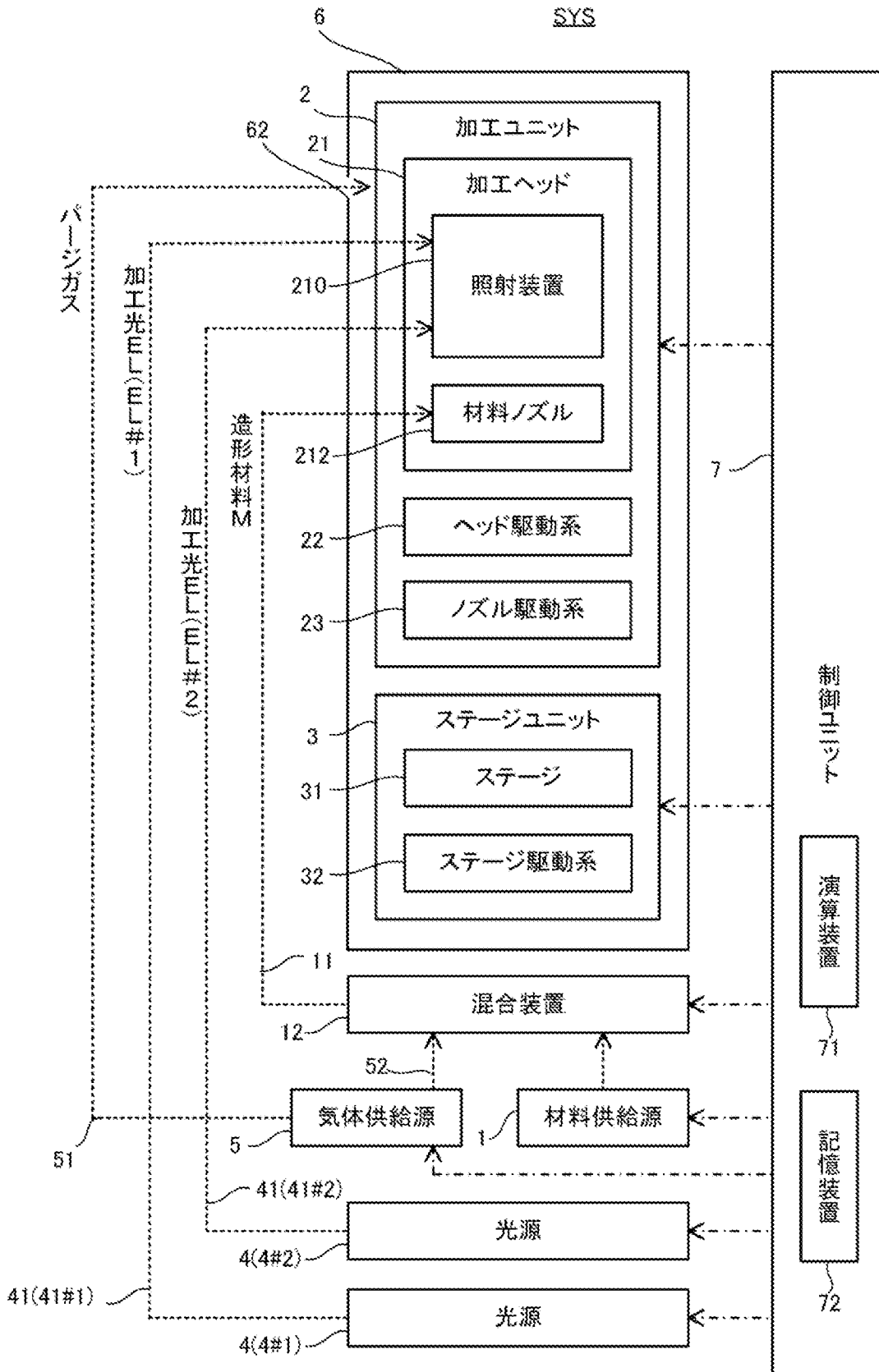
前記付加加工を行うことは、前記材料供給領域の形状及びサイズの少なくとも一方に基づいて、前記照射装置からの前記エネルギービームの照射を制御することを含む

加工方法。

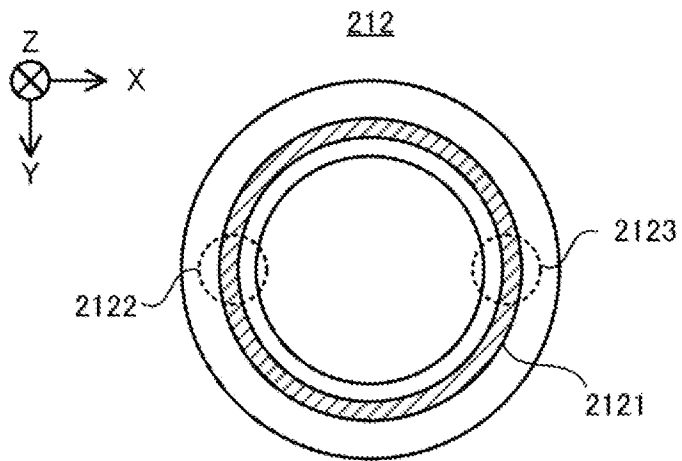
[図1]



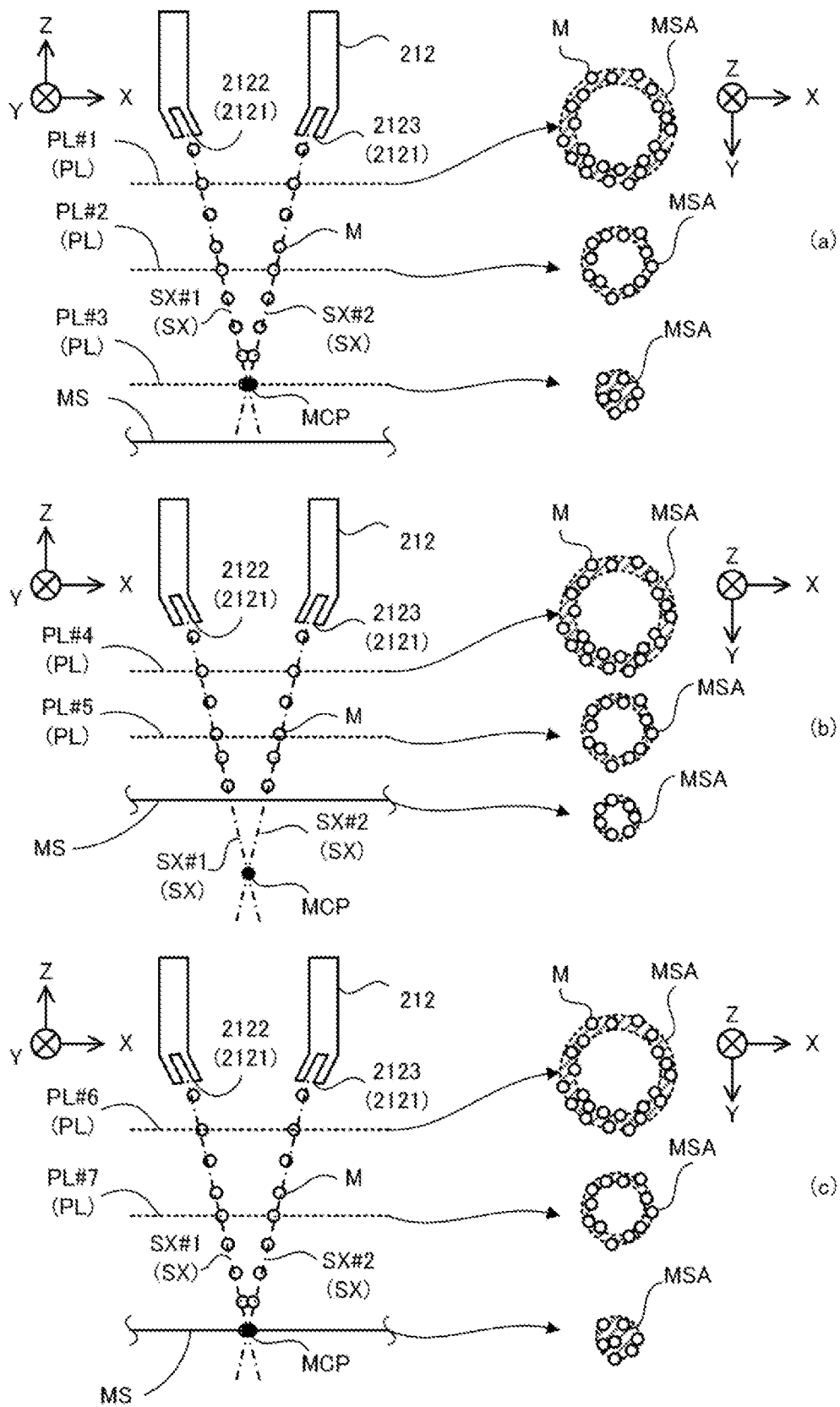
[図2]



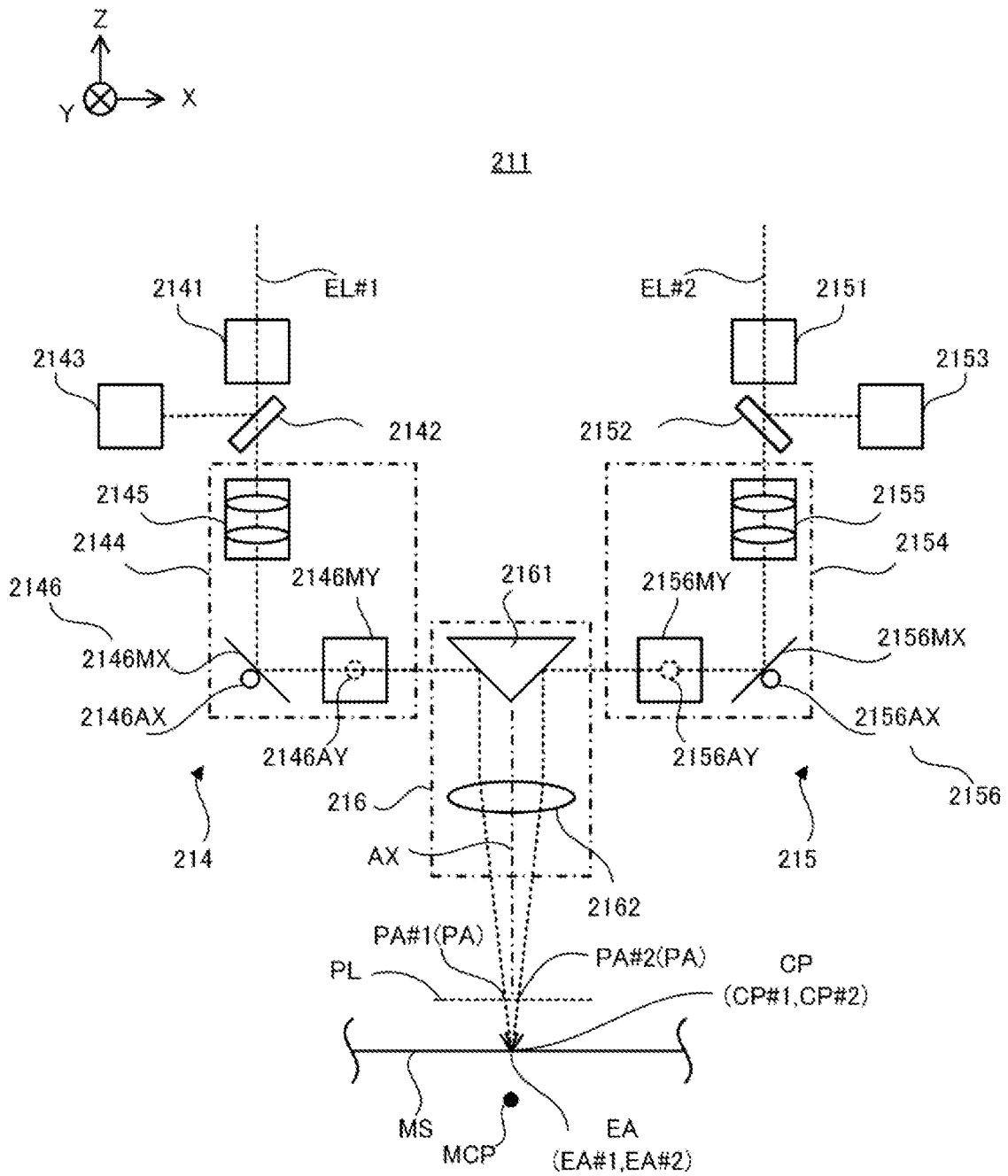
[図3]



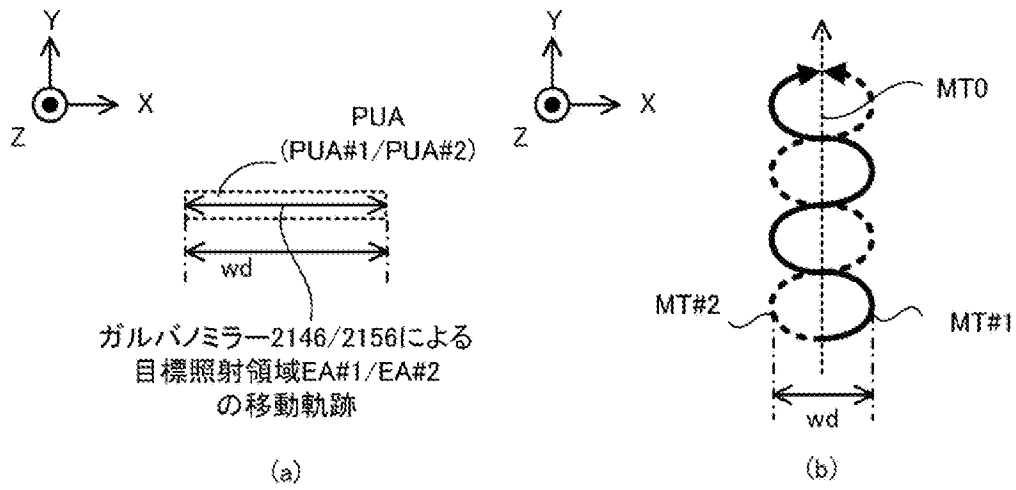
[図4]



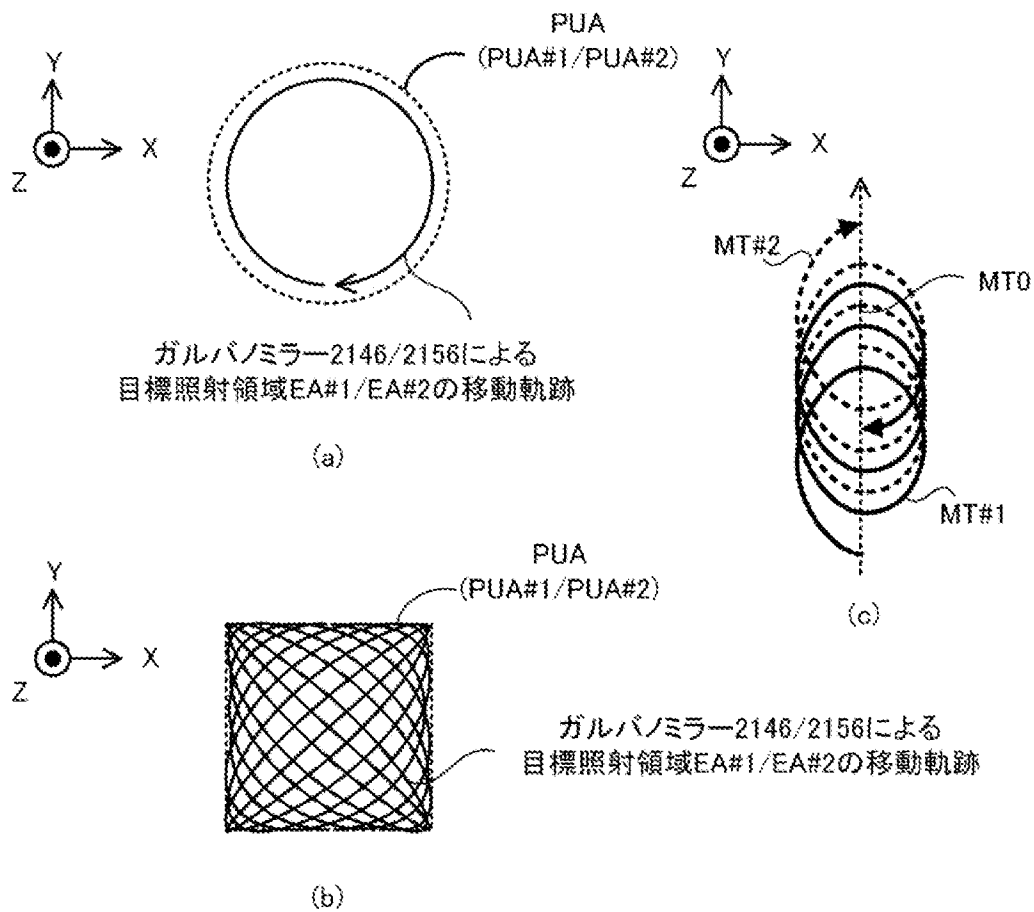
[図5]



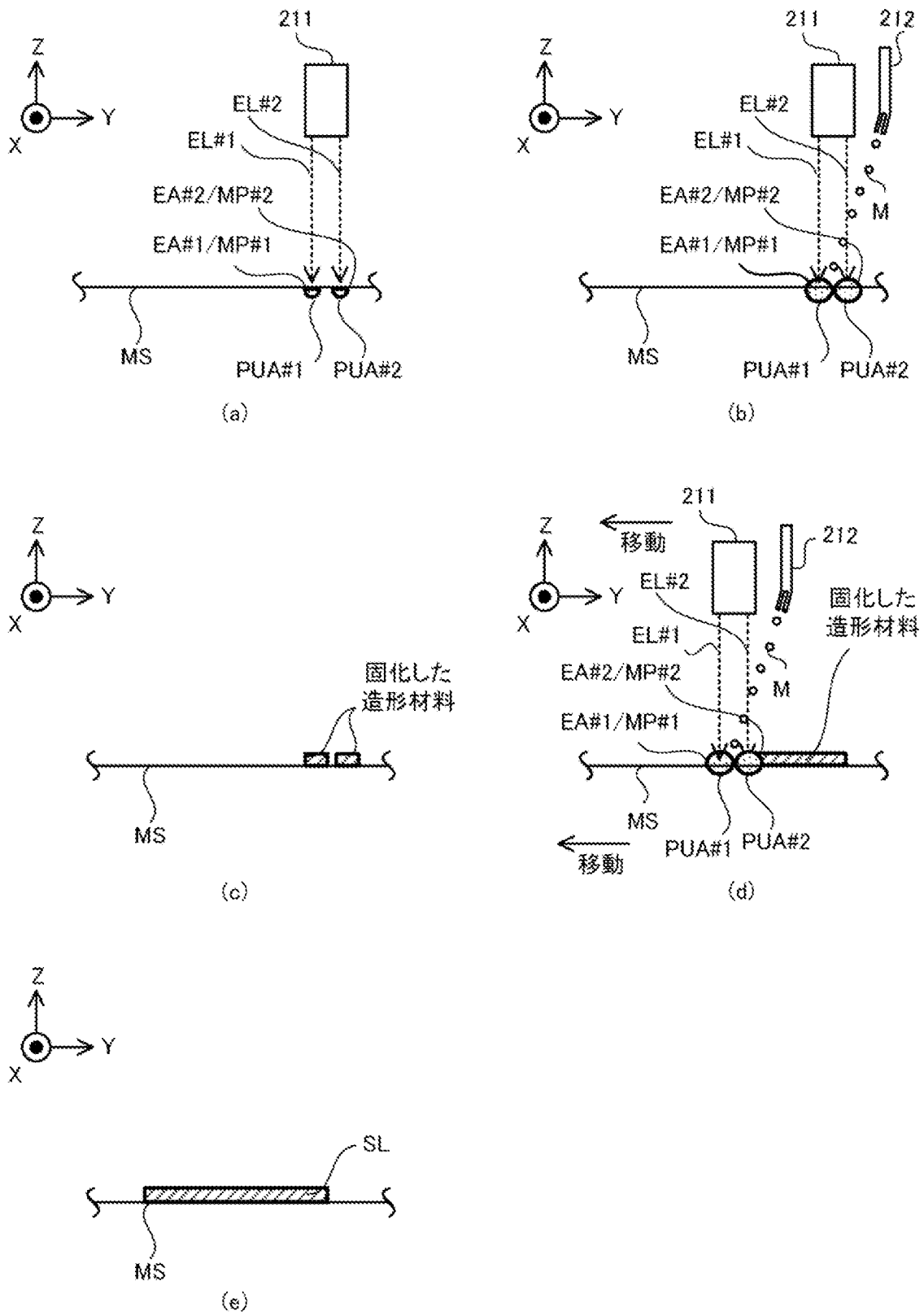
[図6]



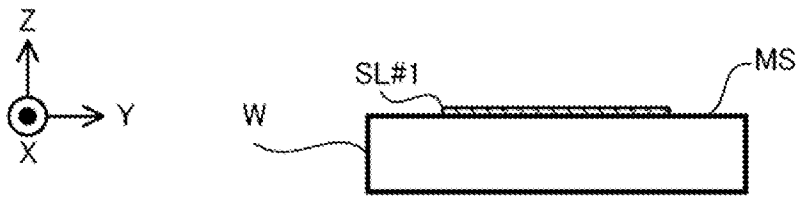
[図7]



[図8]



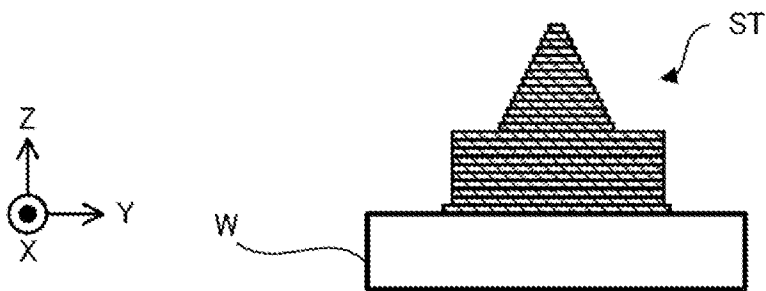
[図9]



(a)

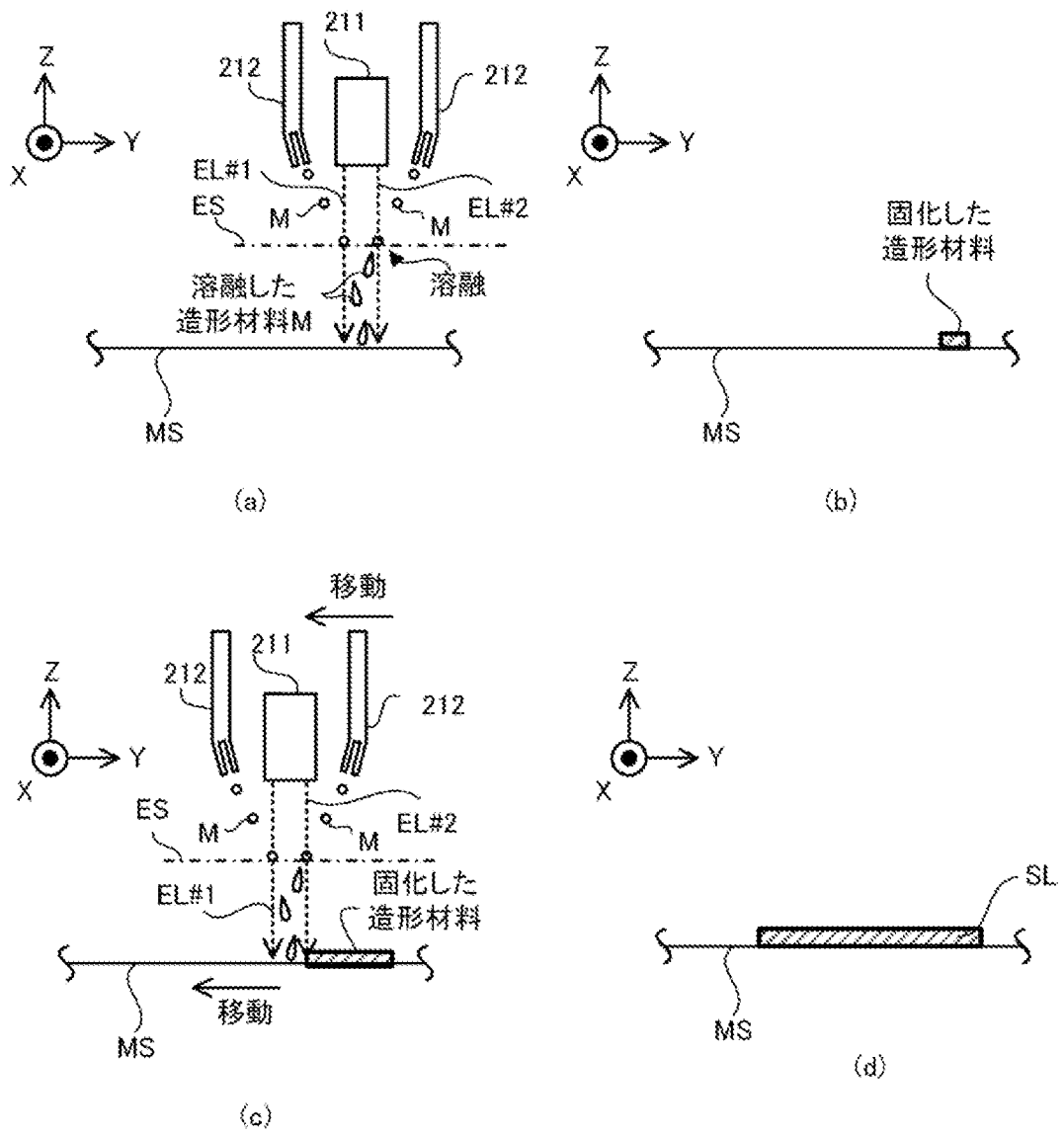


(b)

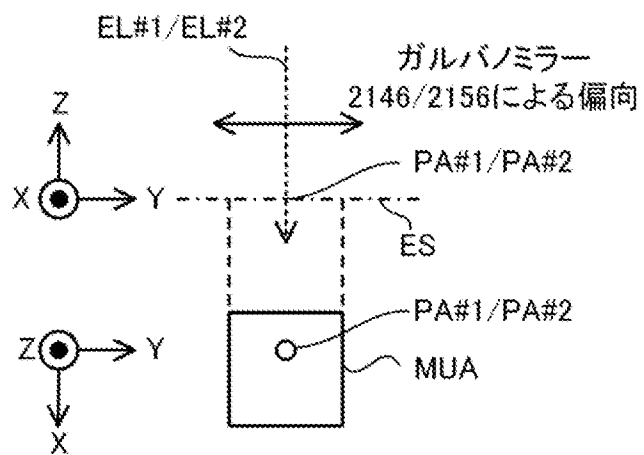


(c)

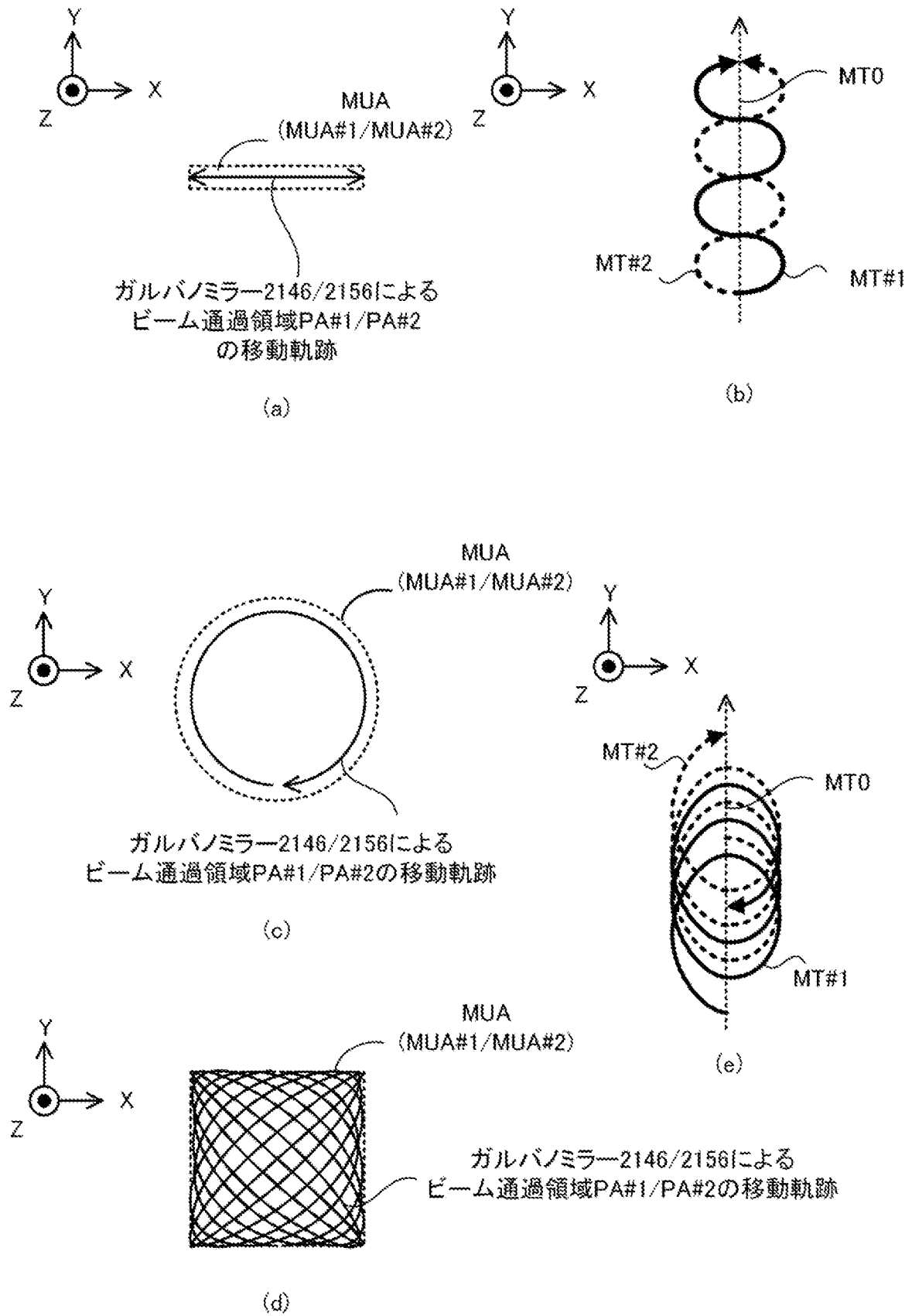
[図10]



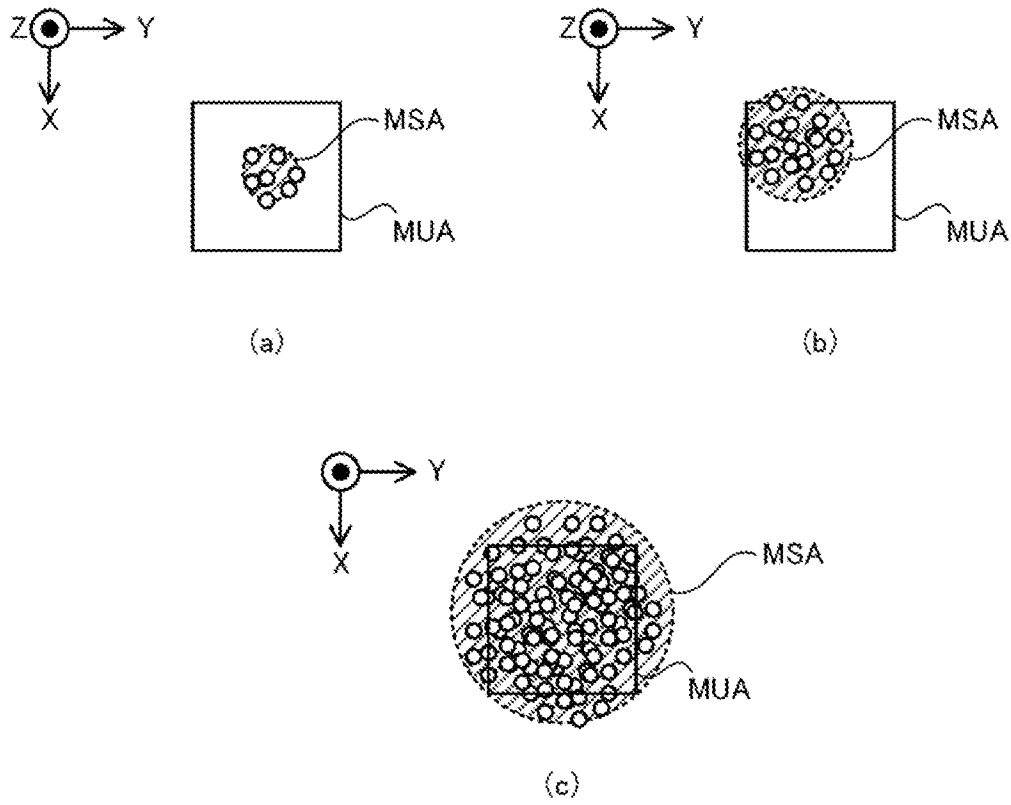
[図11]



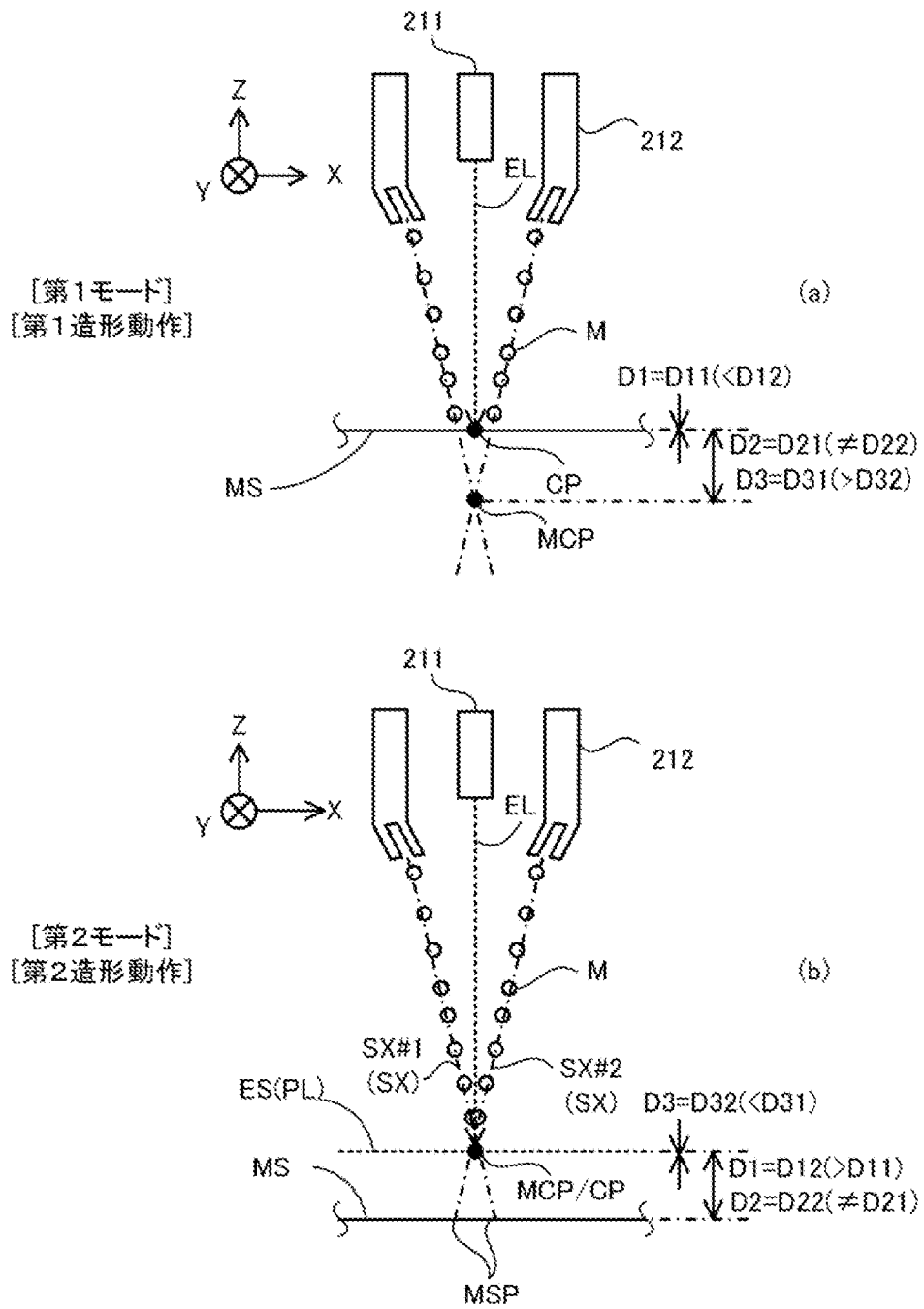
[図12]



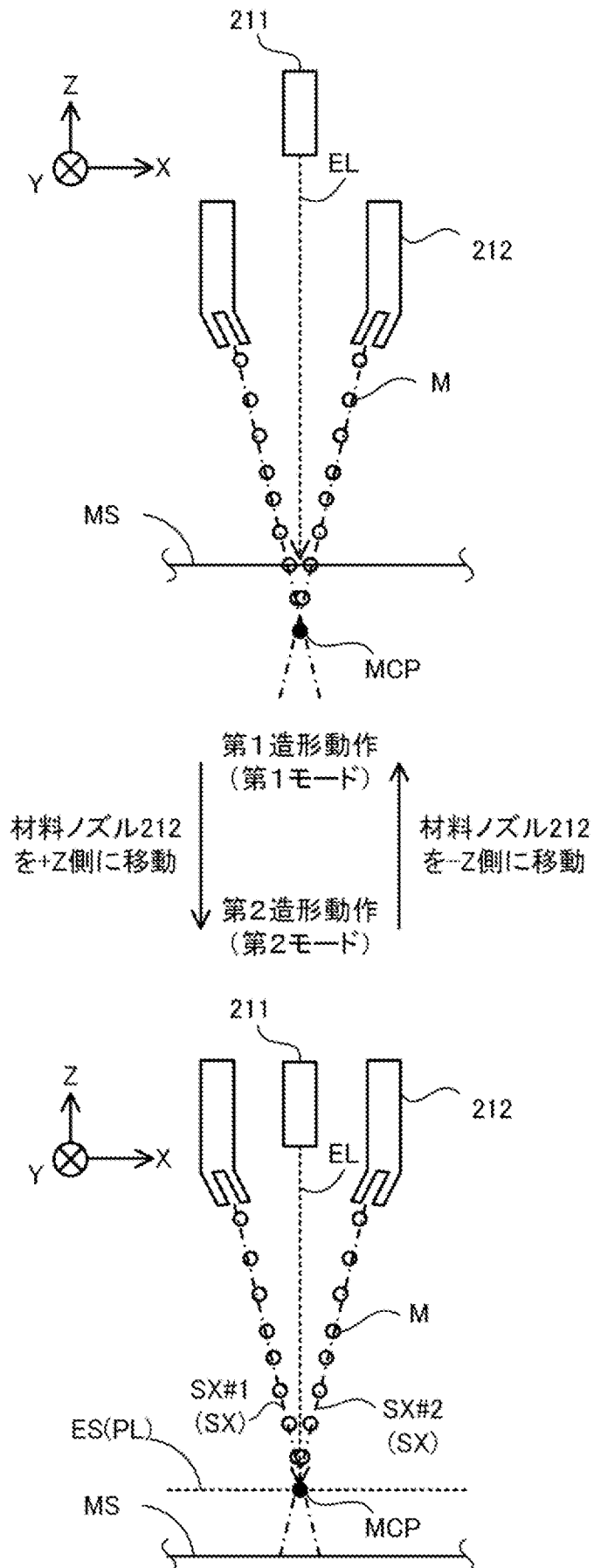
[図13]



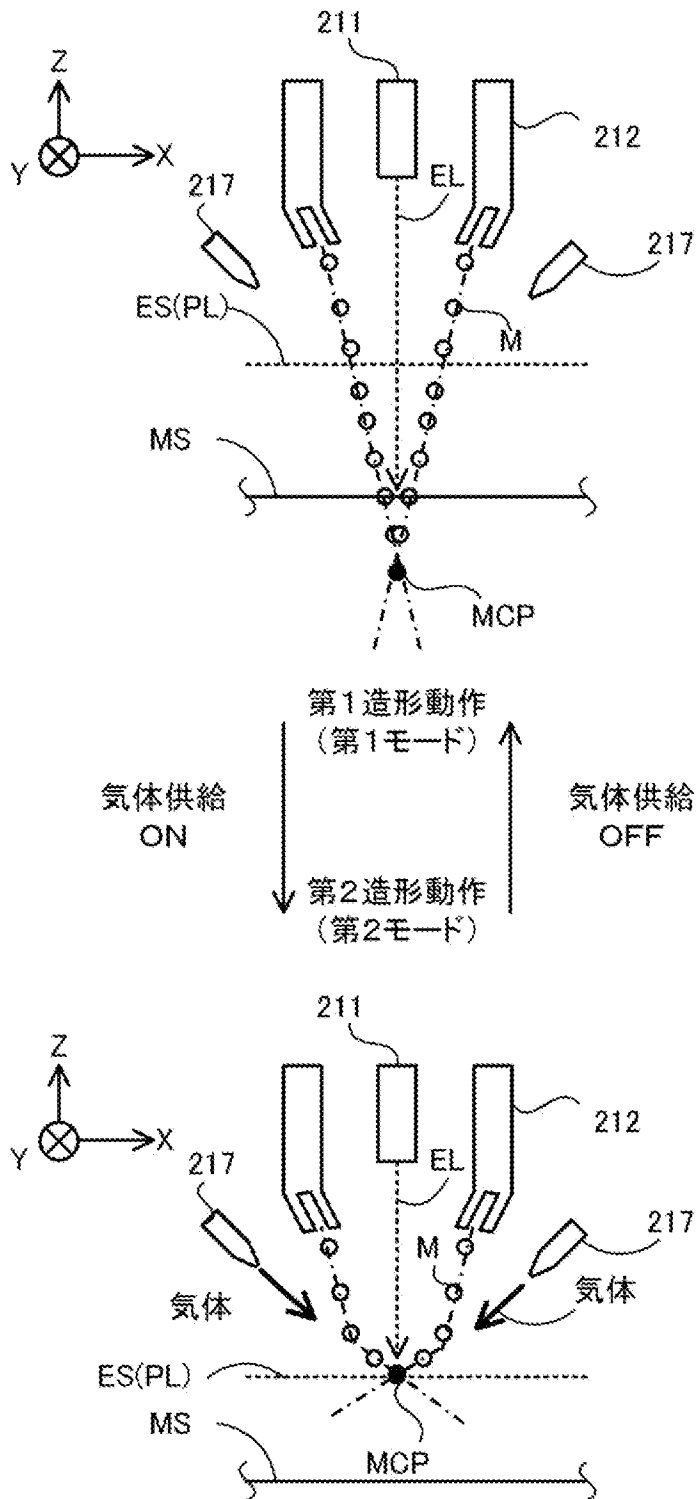
[図14]



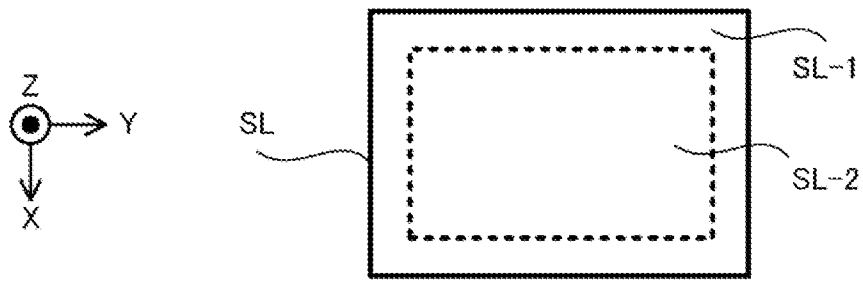
[図15]



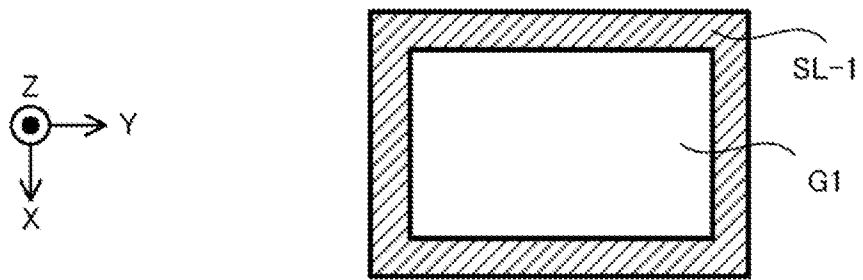
[図16]



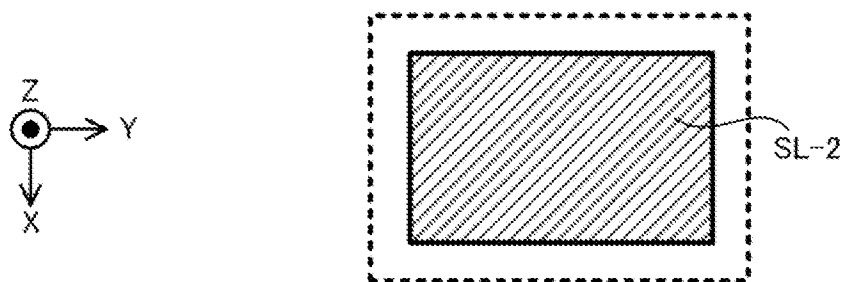
[図17]



(a)

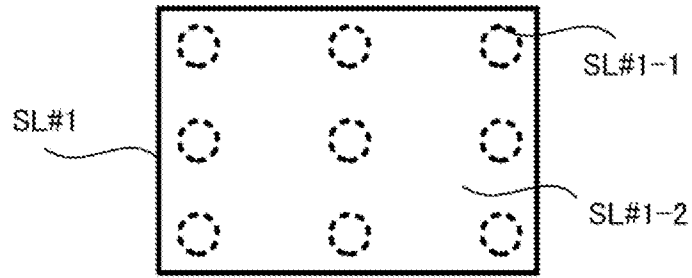
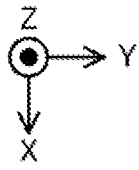


(b)

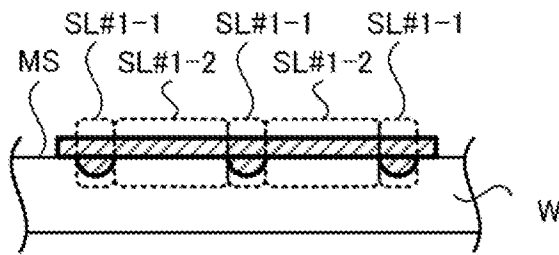
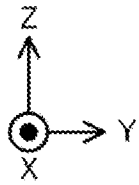


(c)

[図18]

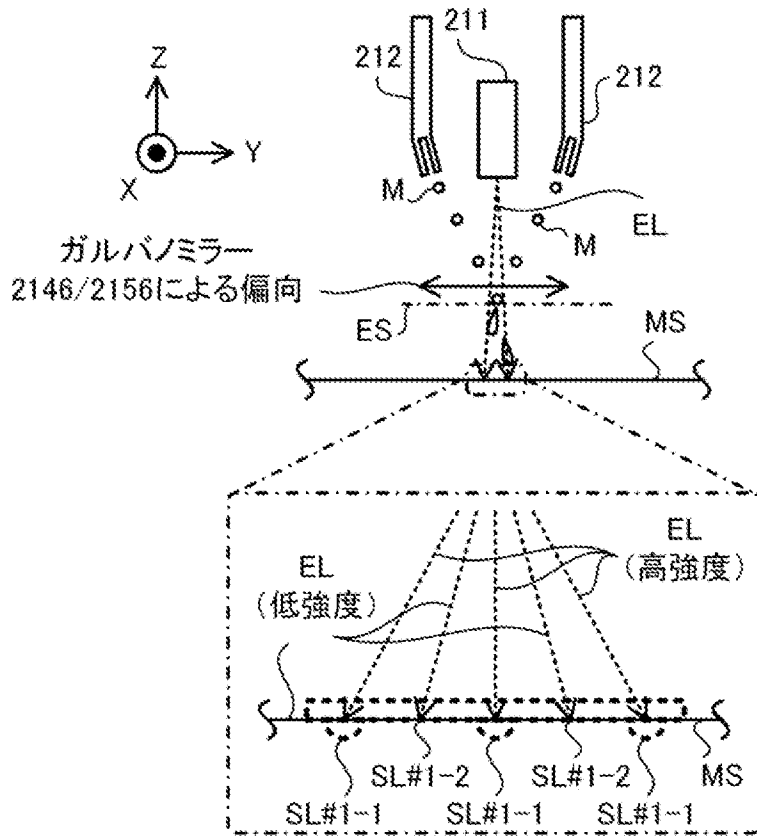


(a)

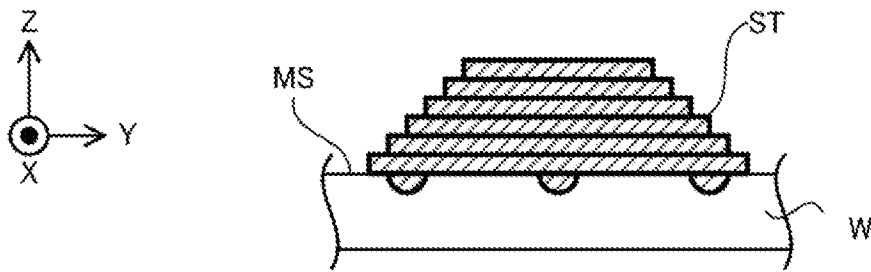


(b)

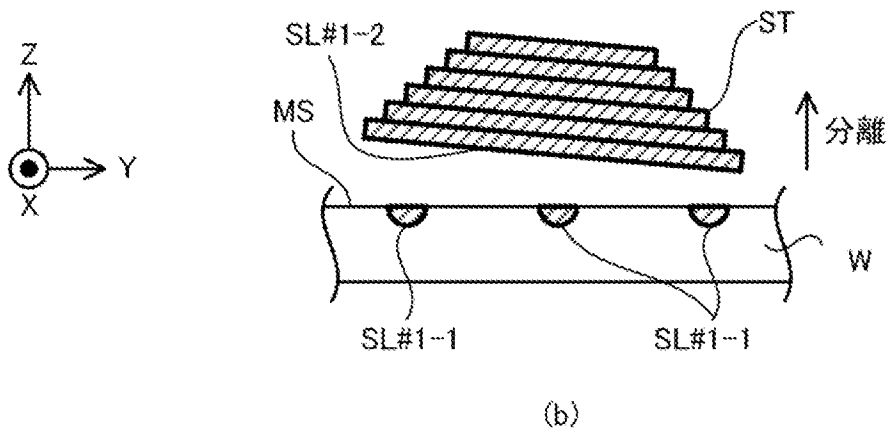
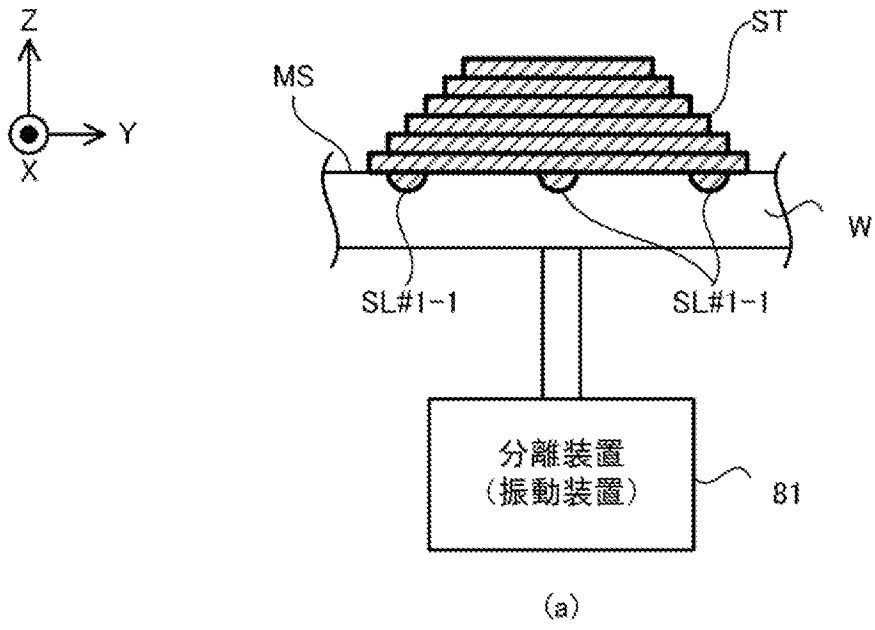
[図19]



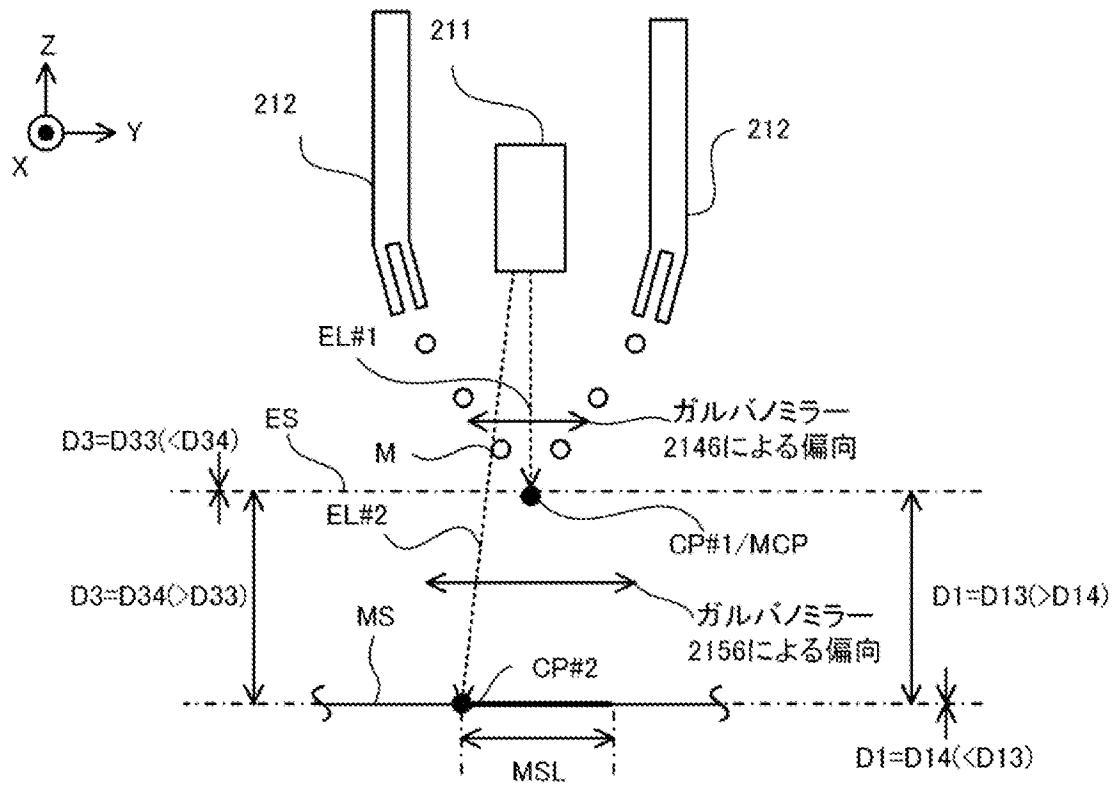
[図20]



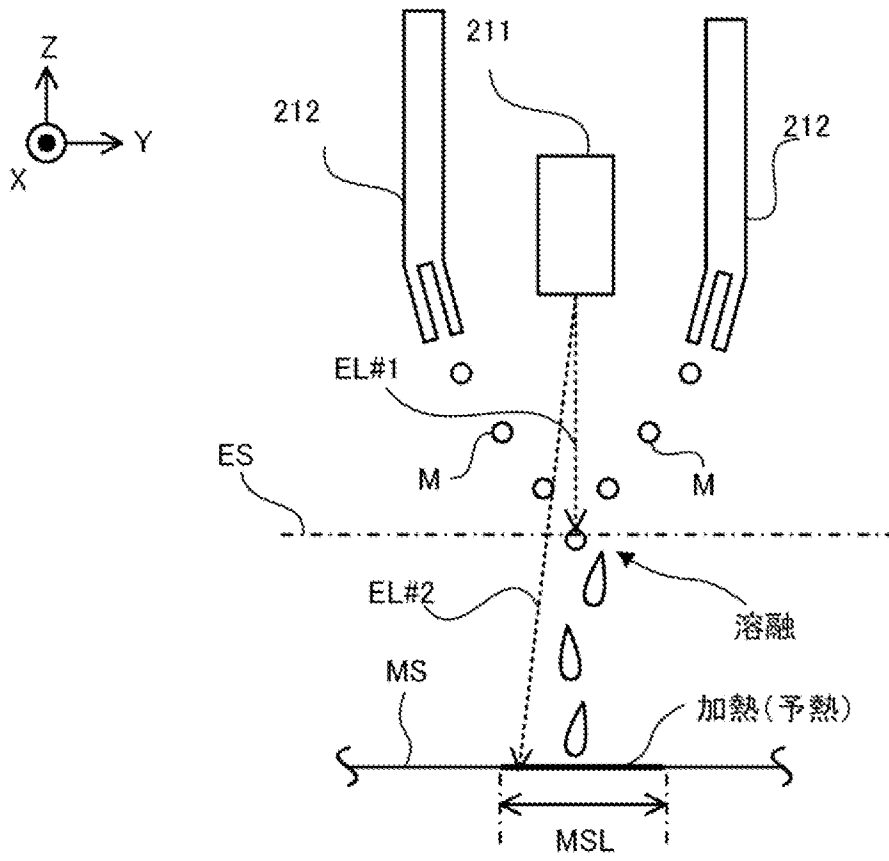
[図21]



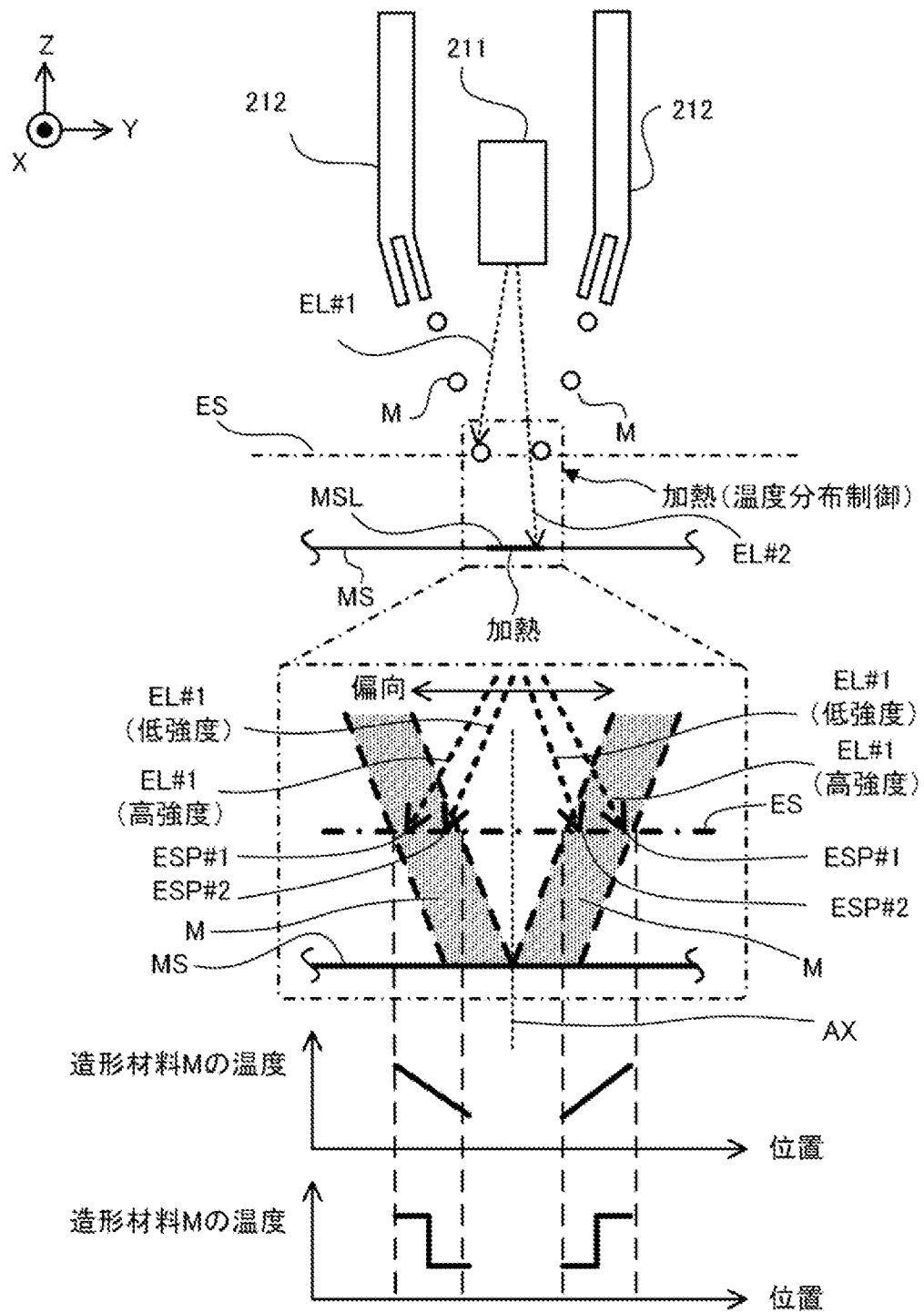
[図22]



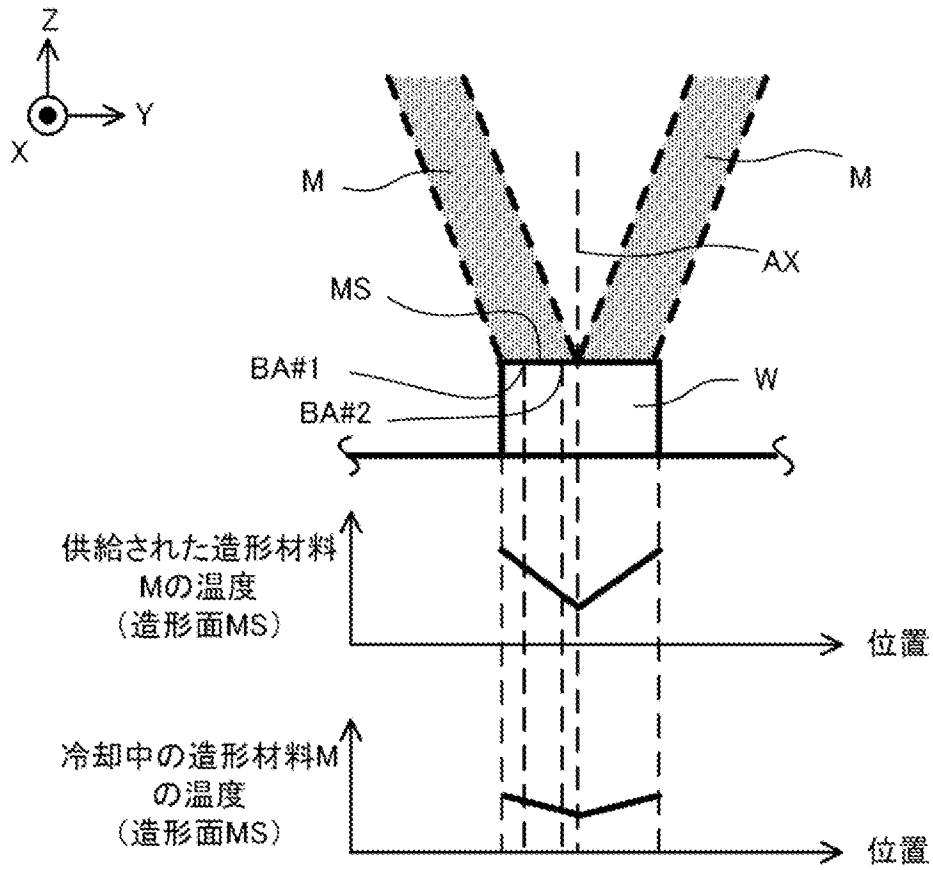
[図23]



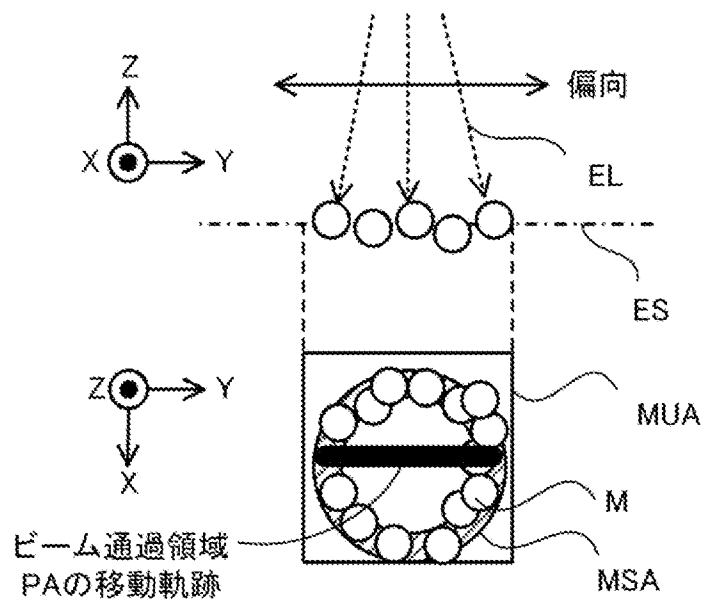
[図24]



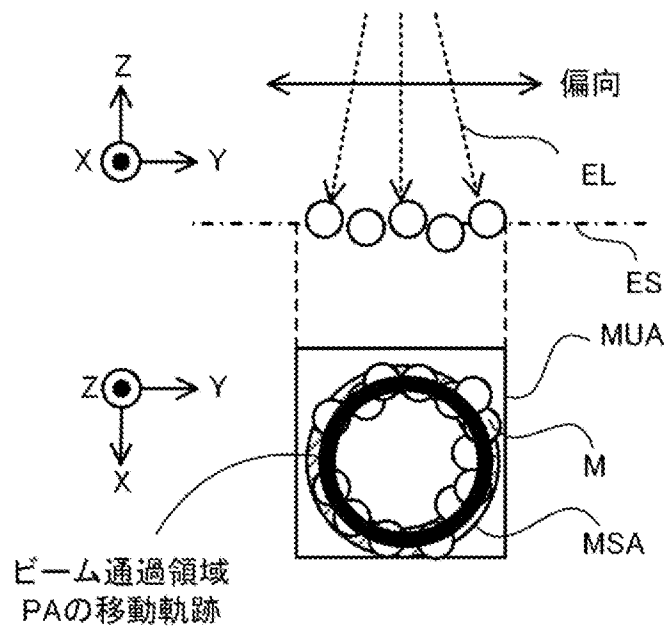
[図25]



[図26]

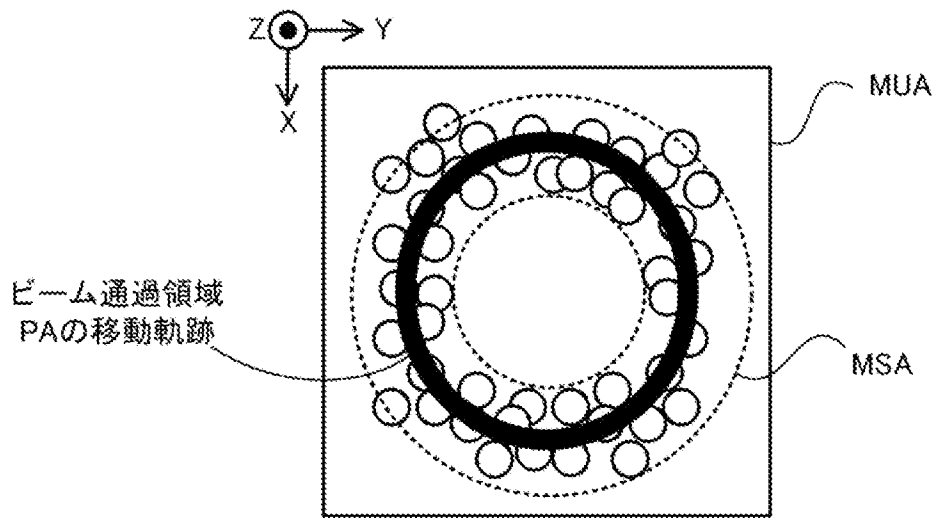


(a)

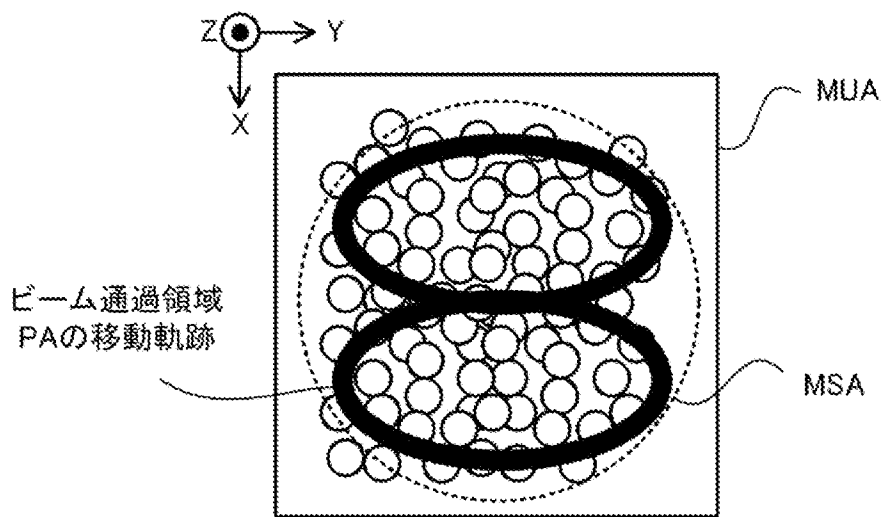


(b)

[図27]

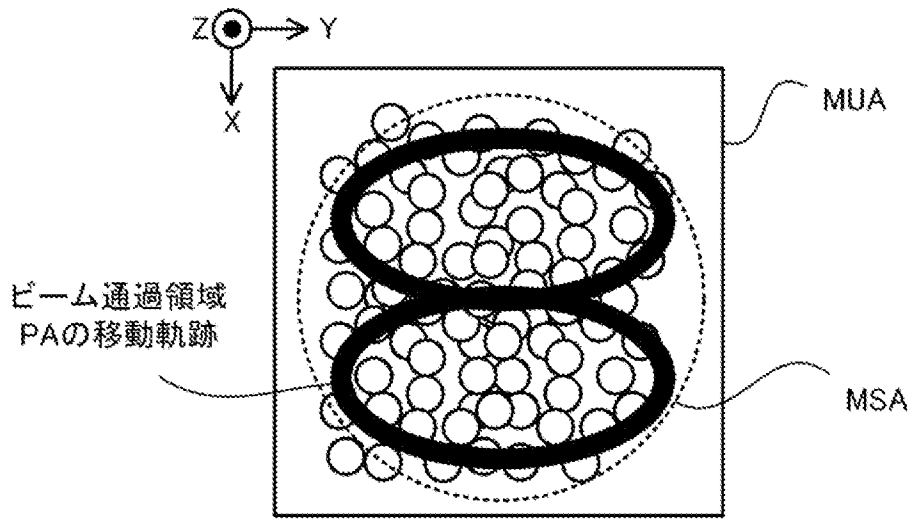


(a)

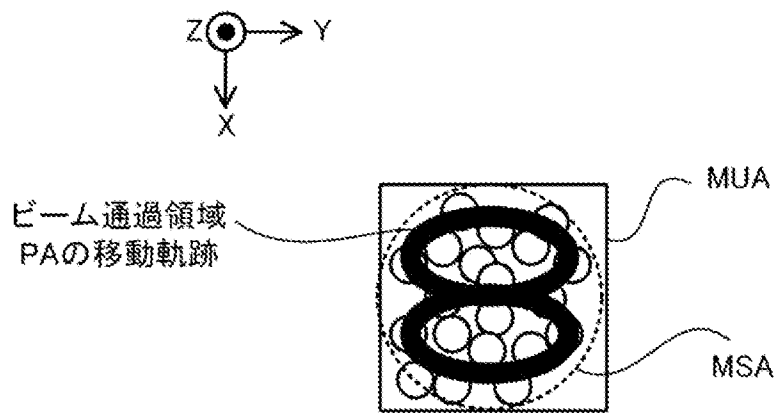


(b)

[図28]

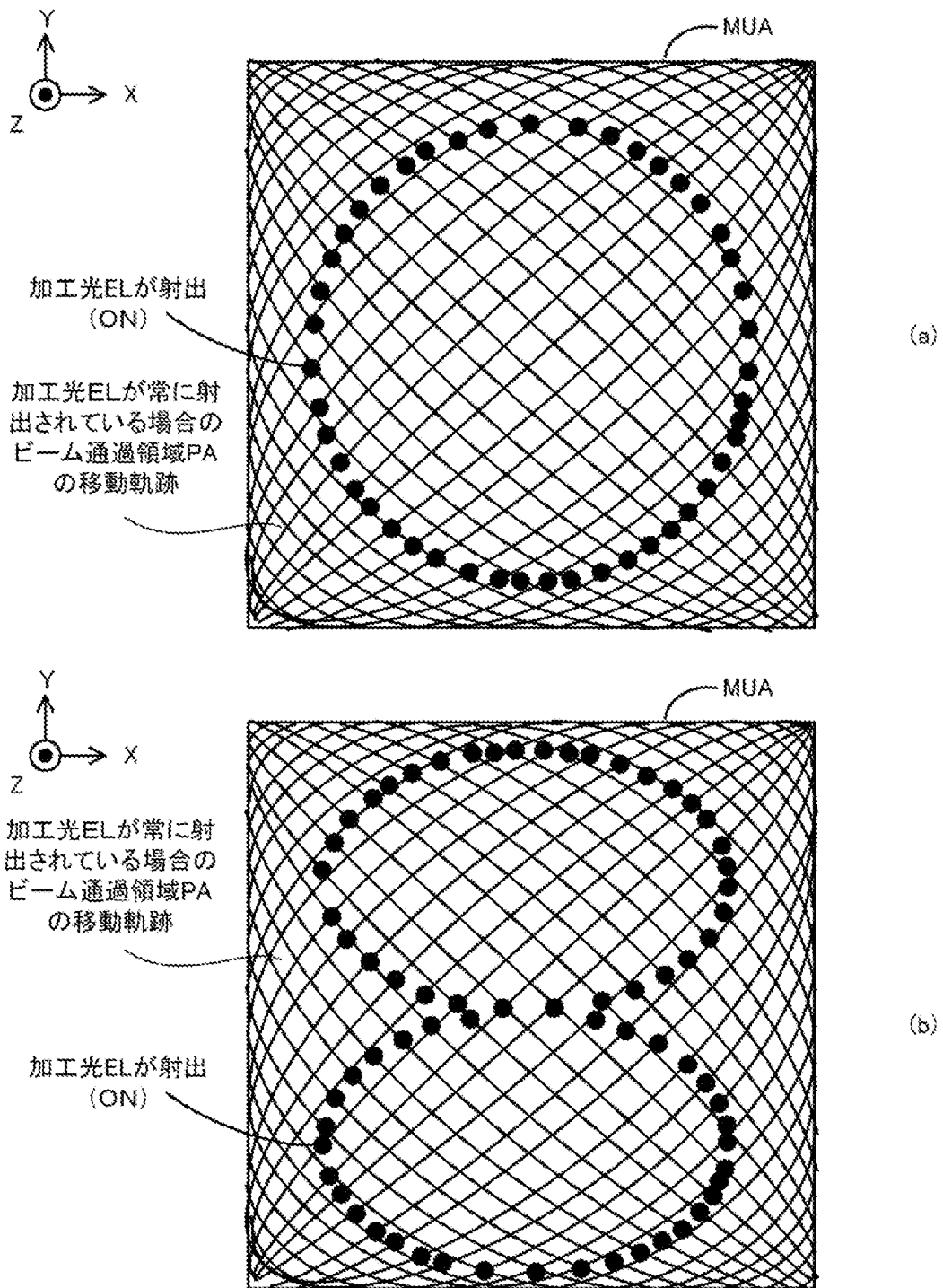


(a)

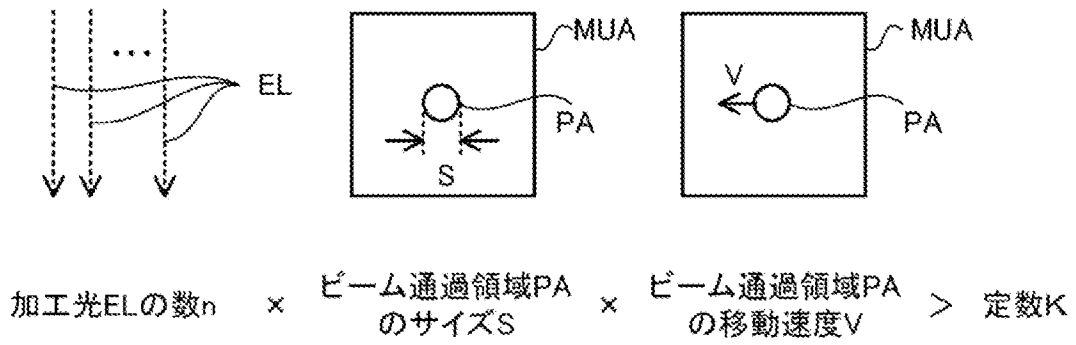


(b)

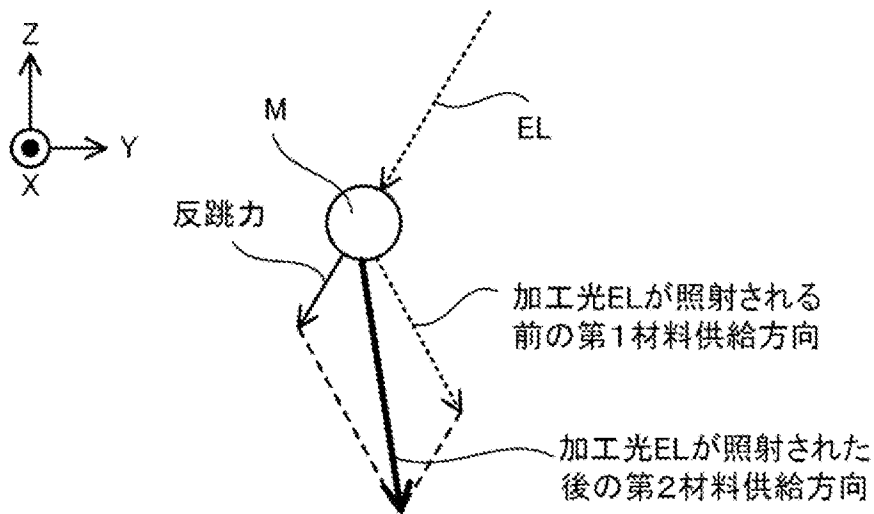
[図29]



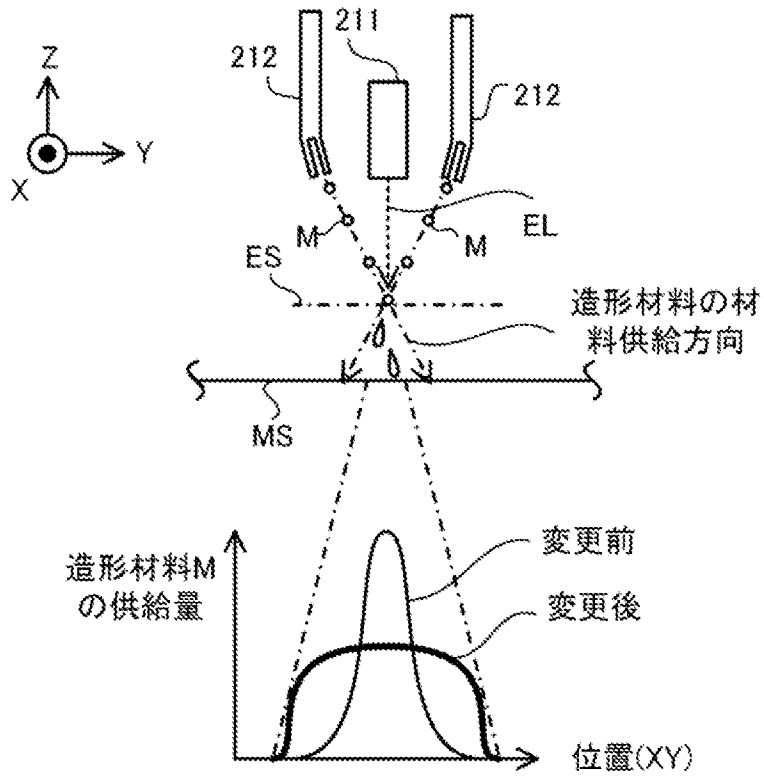
[図30]



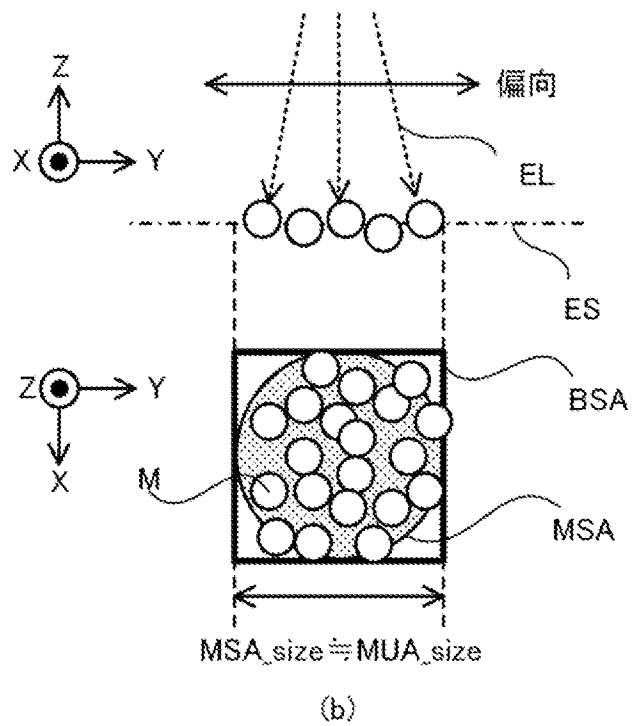
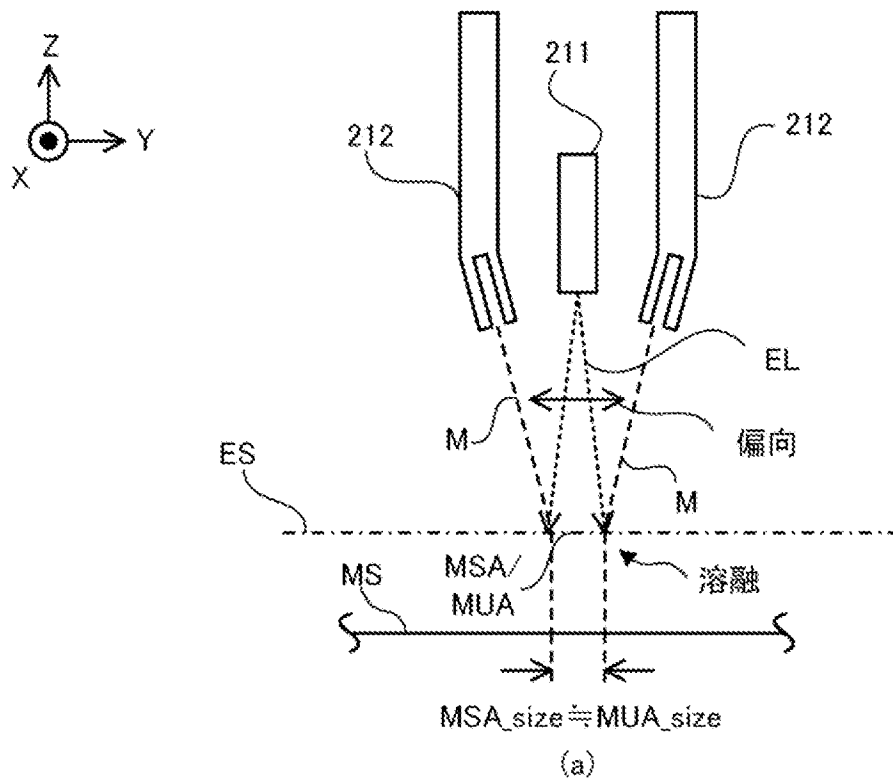
[図31]



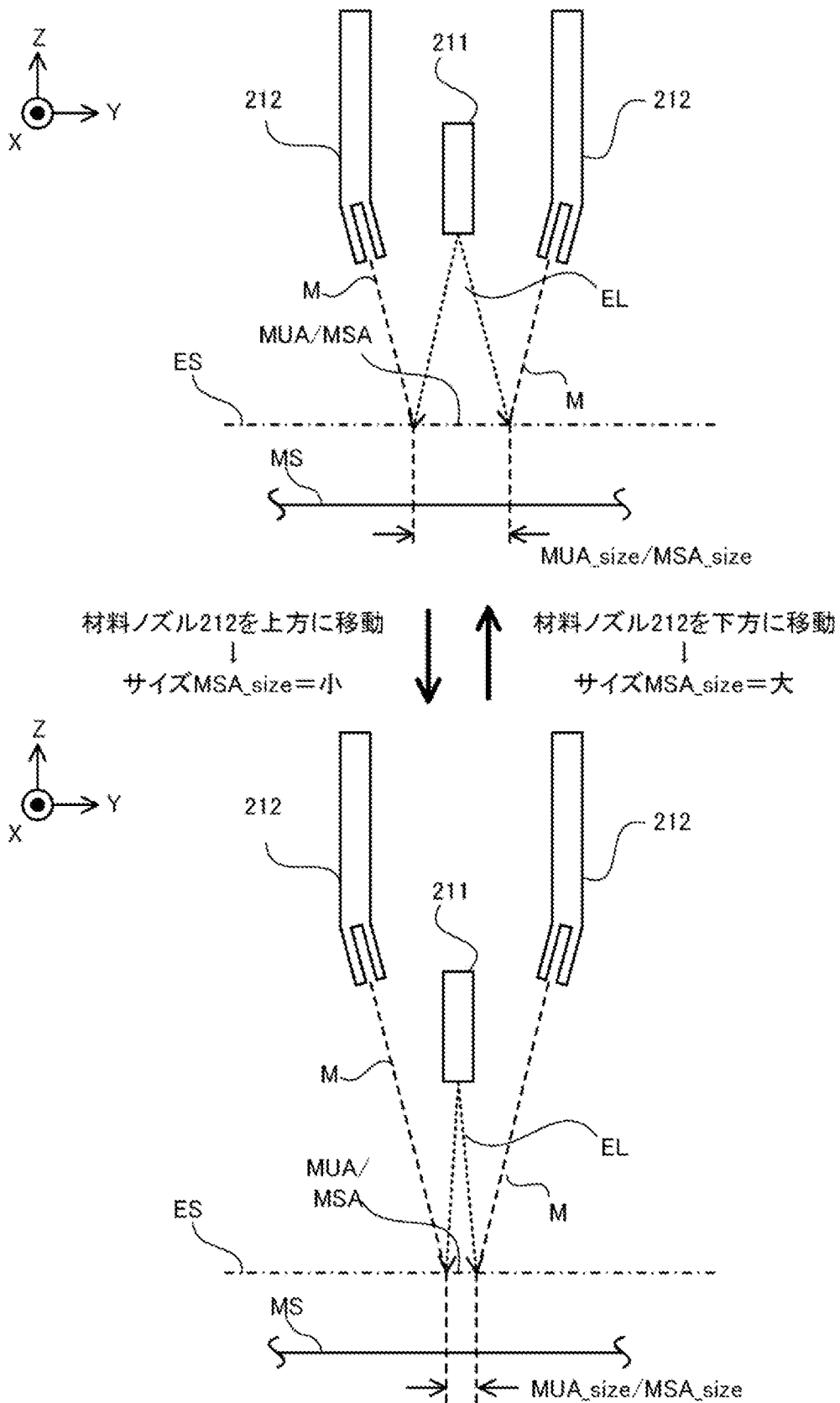
[図32]



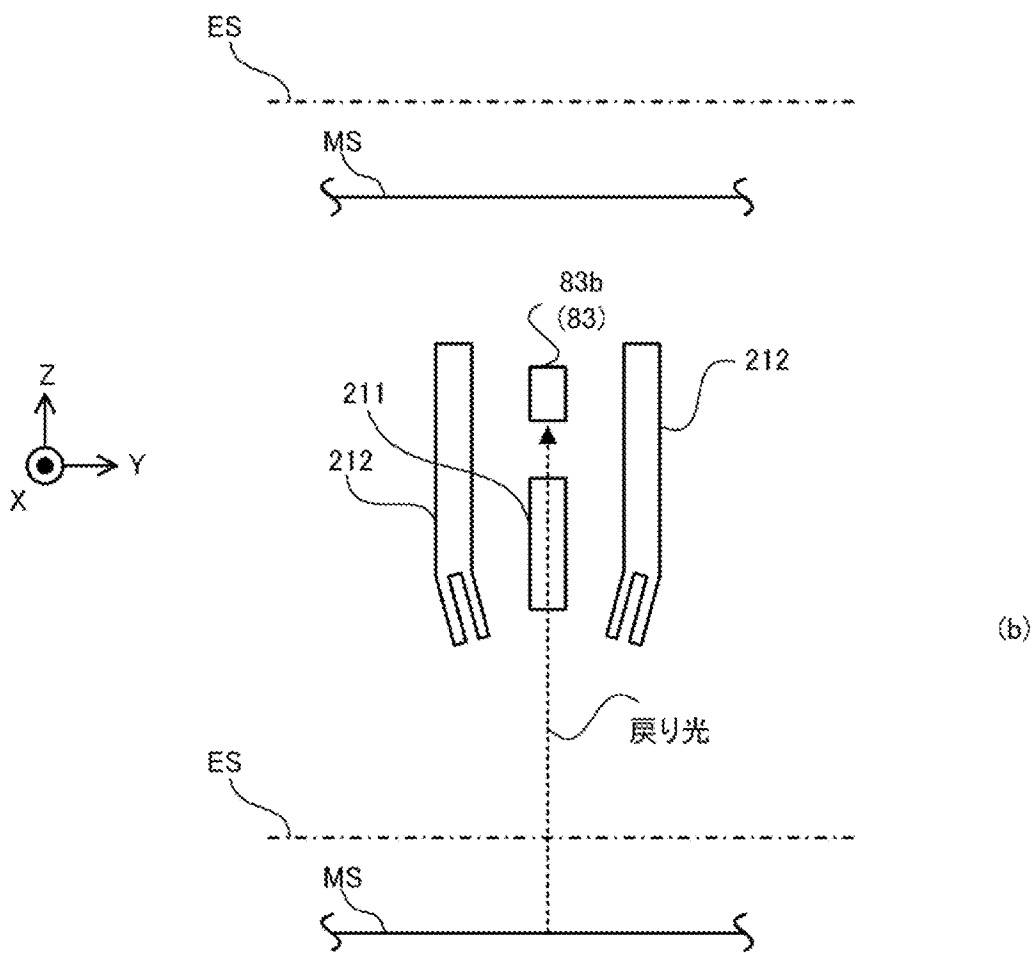
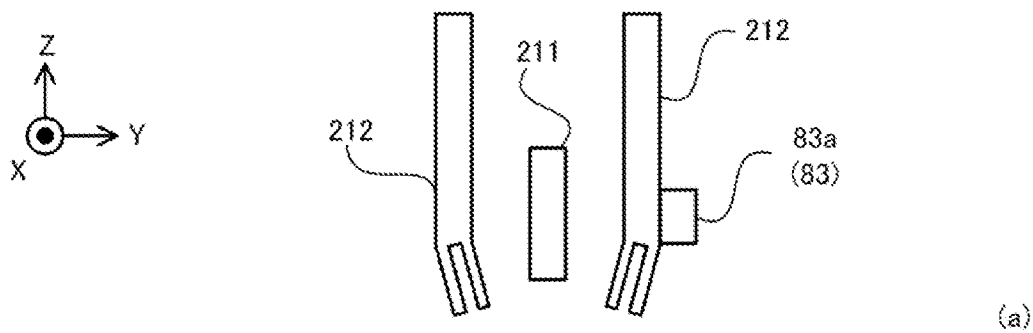
[図33]



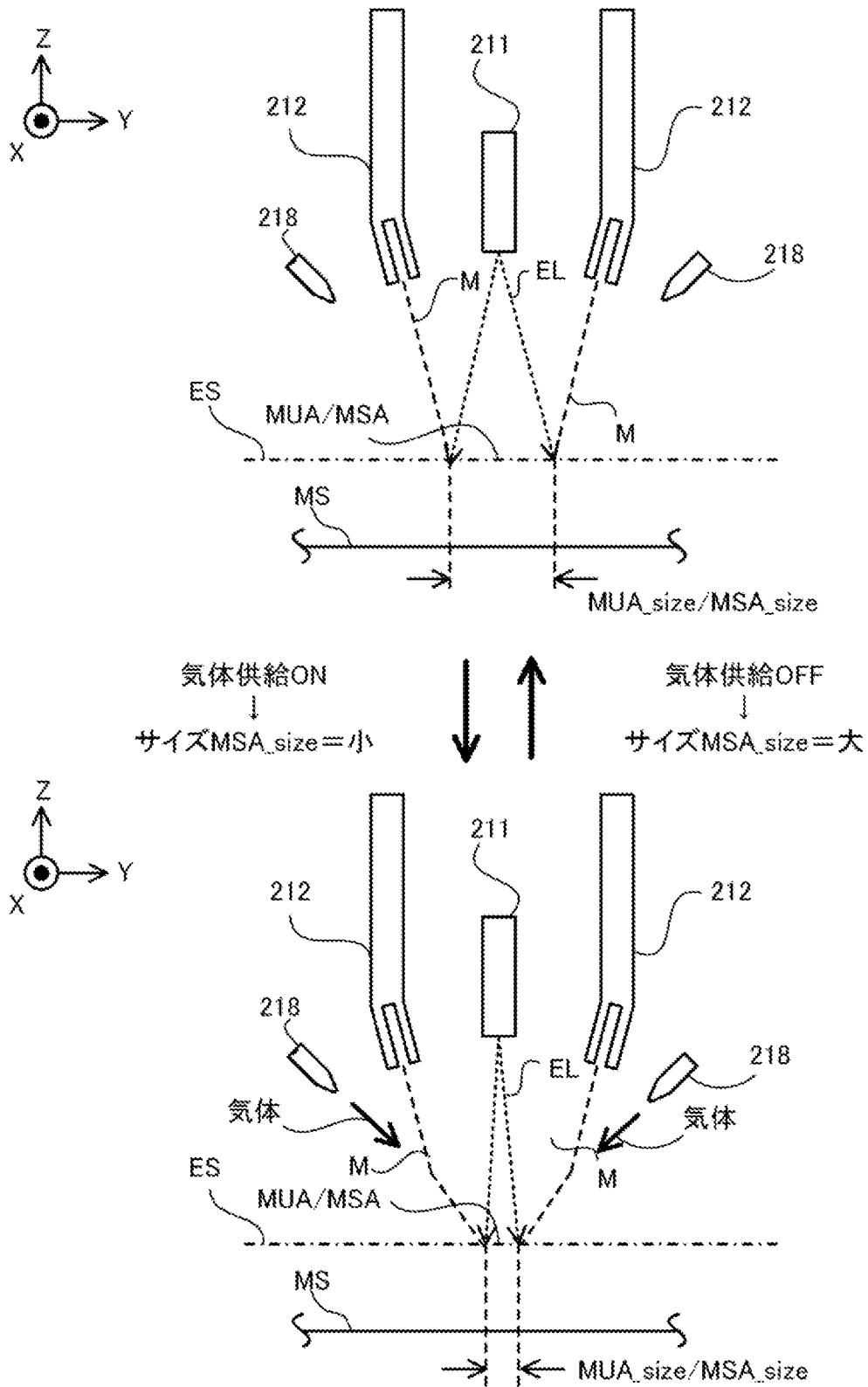
[図35]



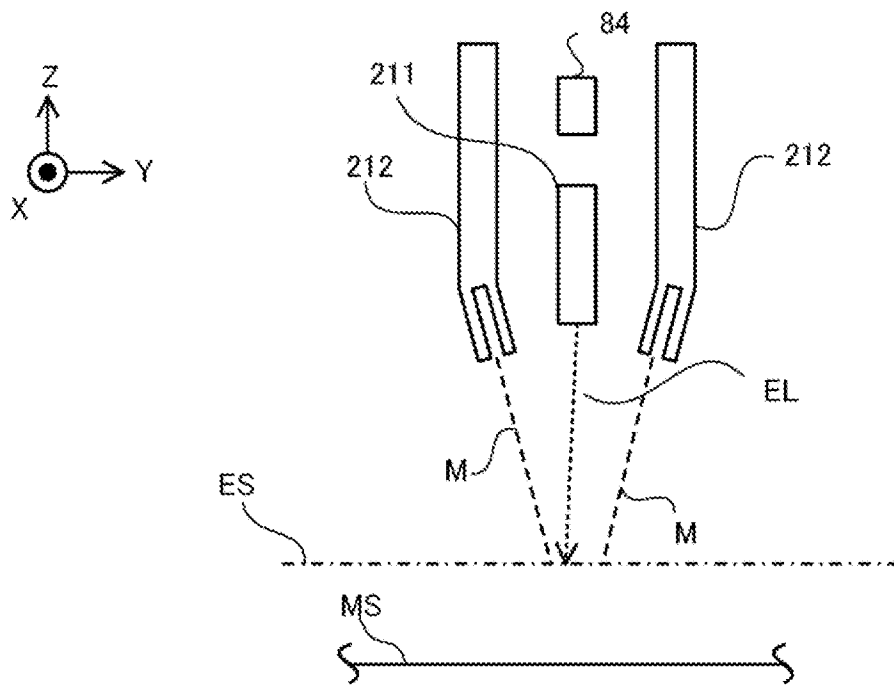
[図36]



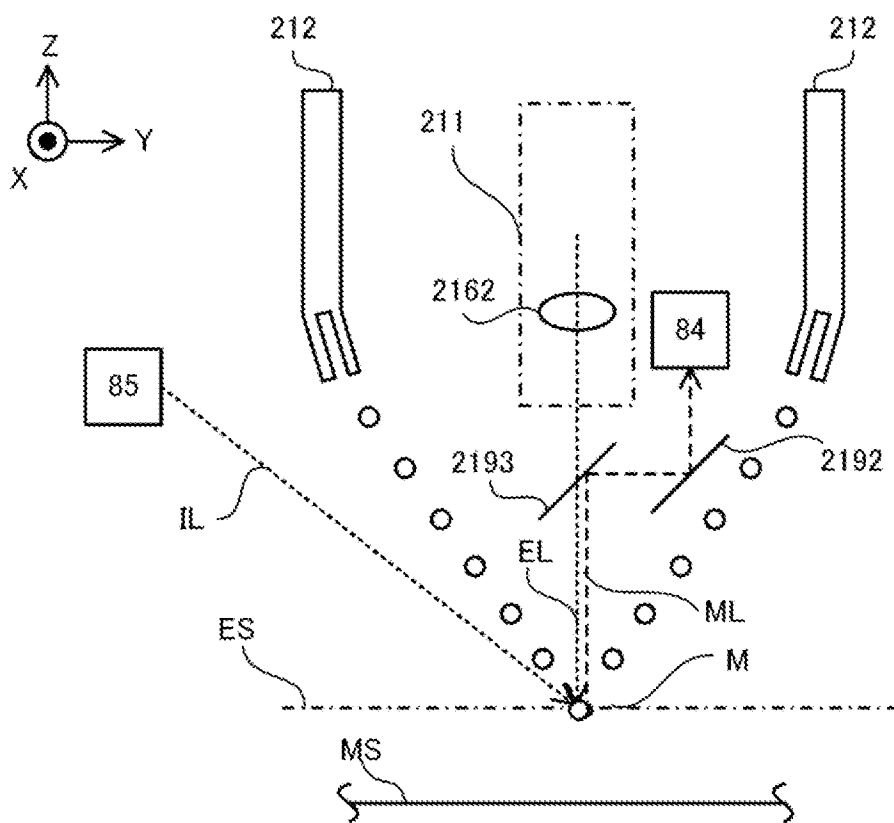
[図37]



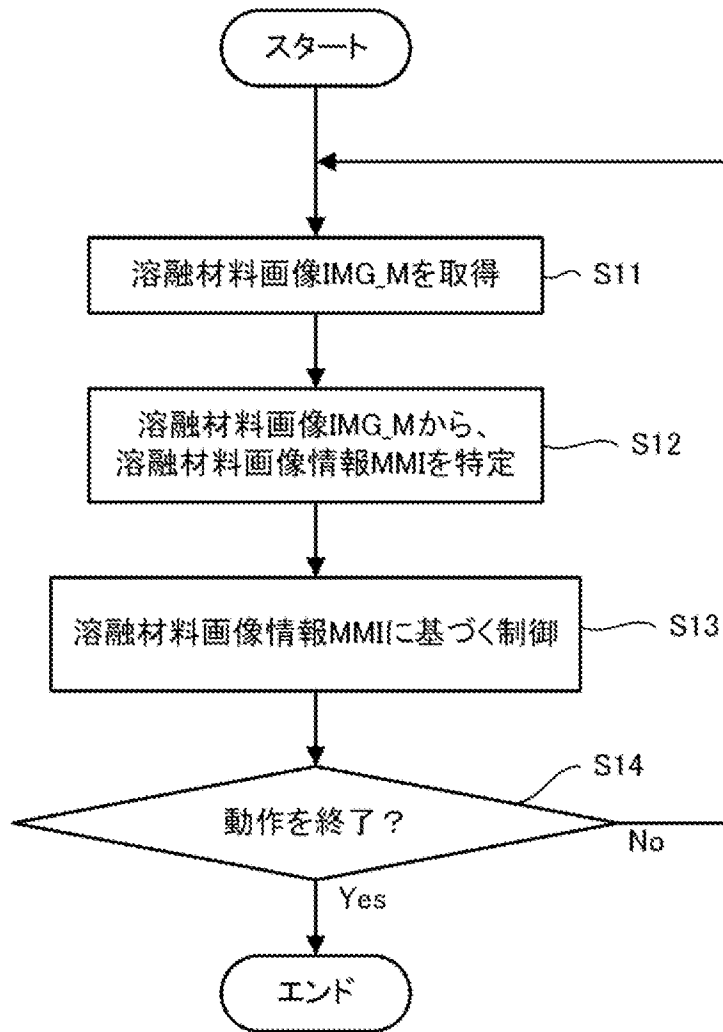
[図38]



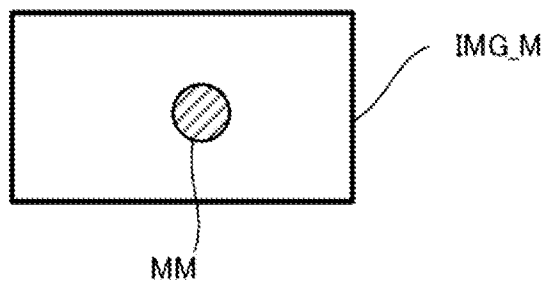
[図39]



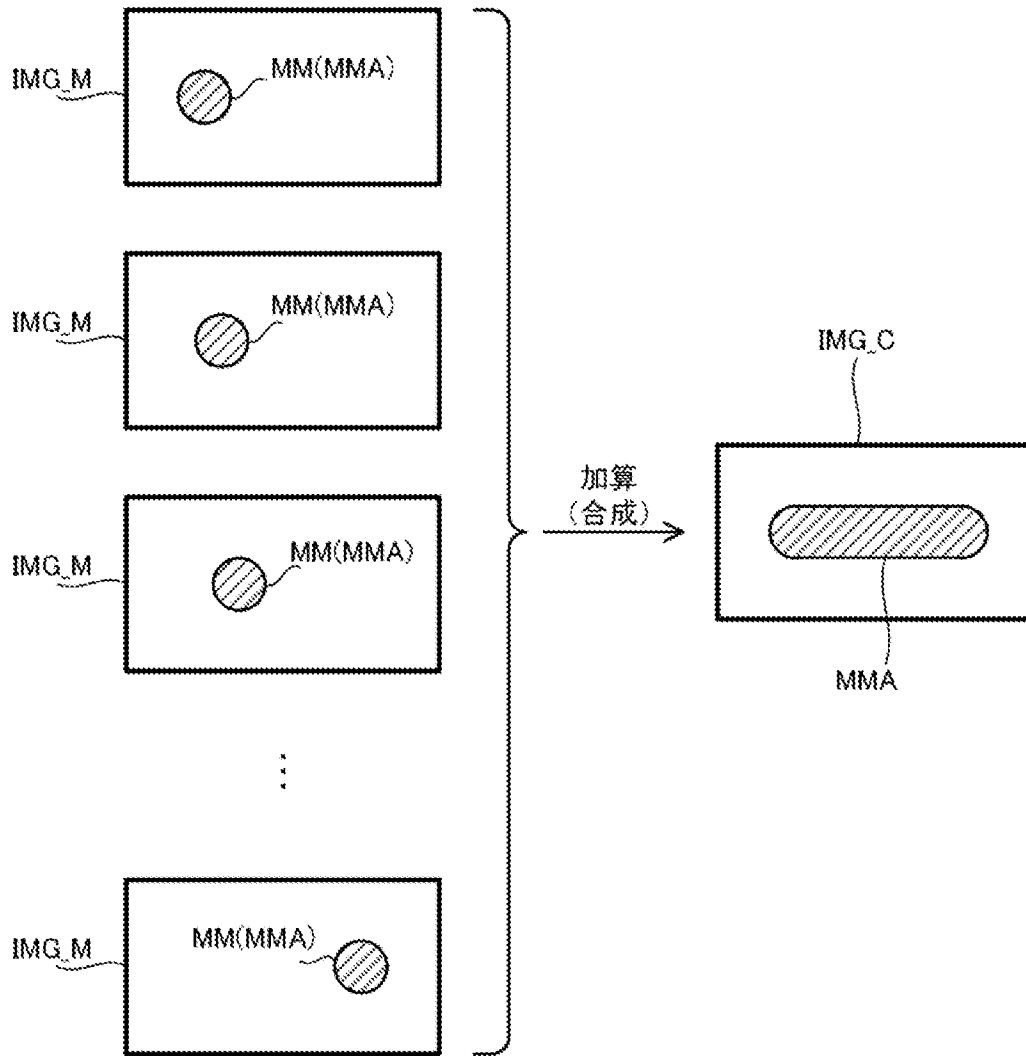
[図40]



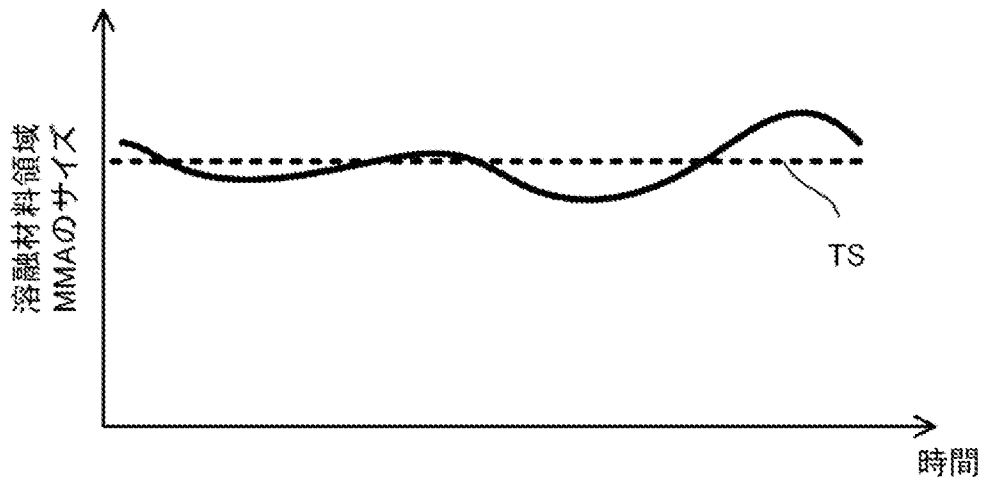
[図41]



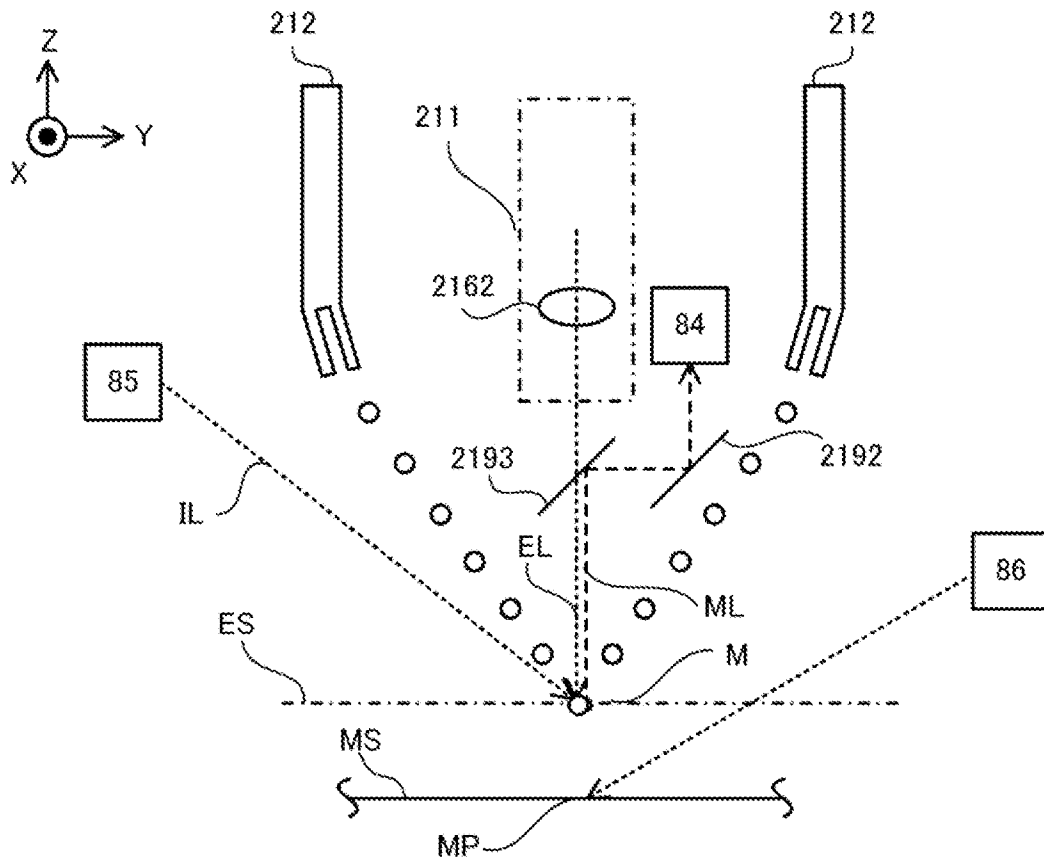
[図42]



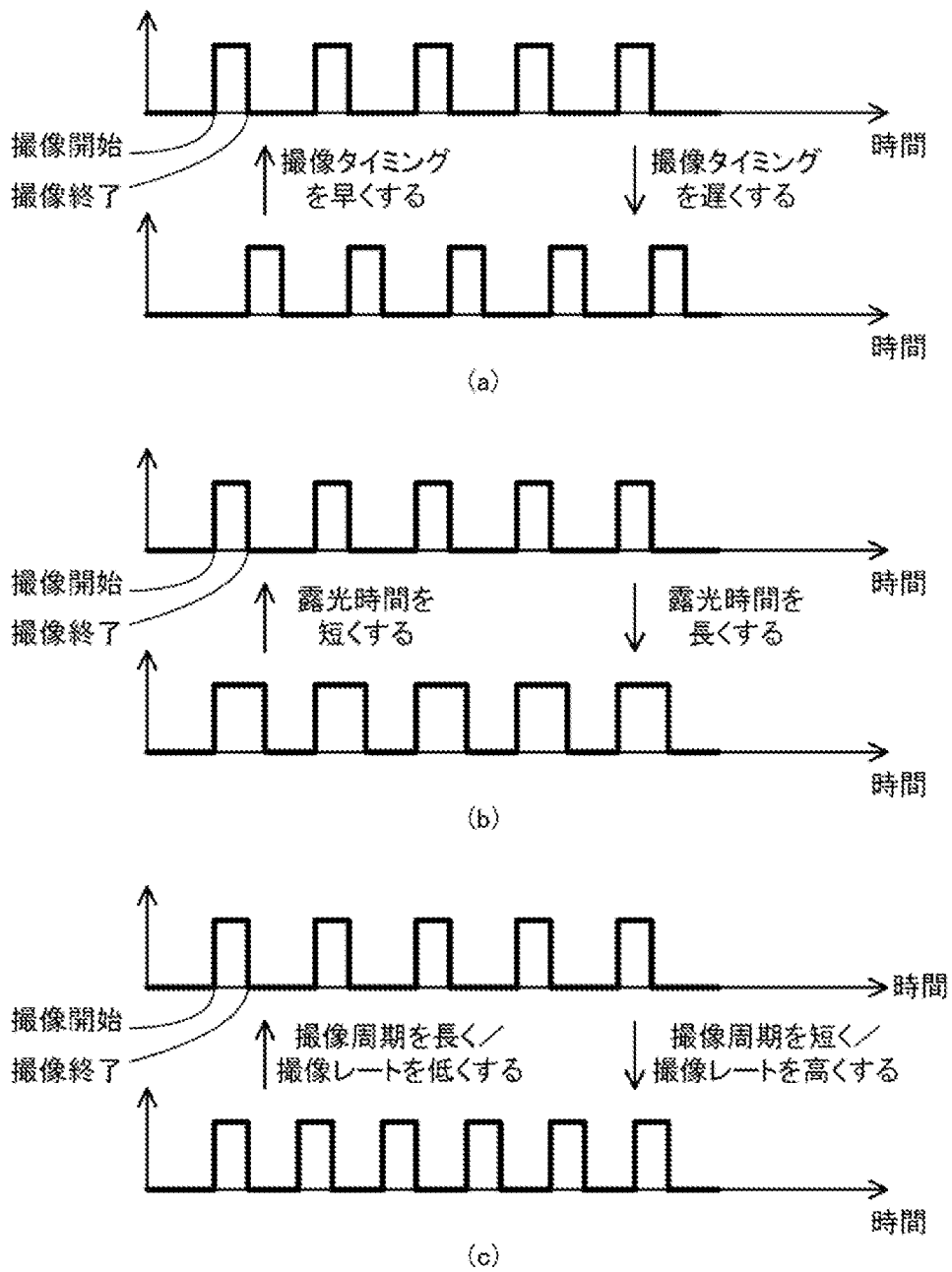
[図43]



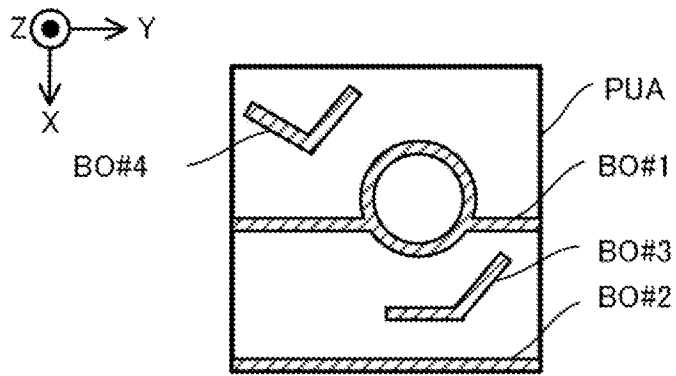
[図44]



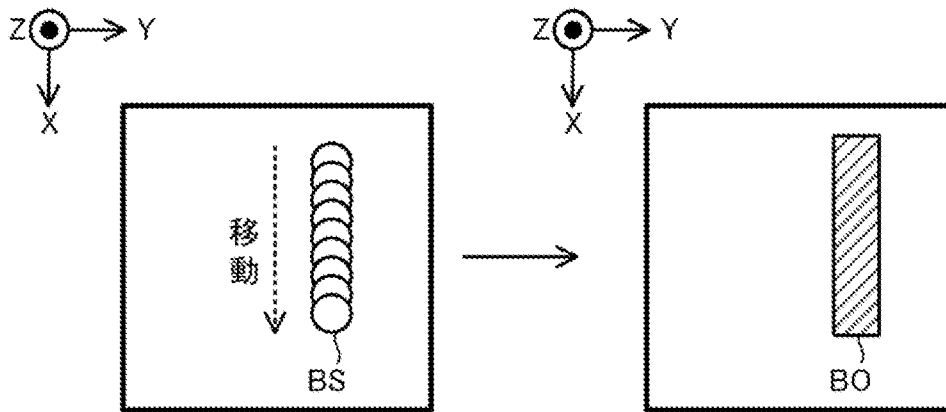
[図45]



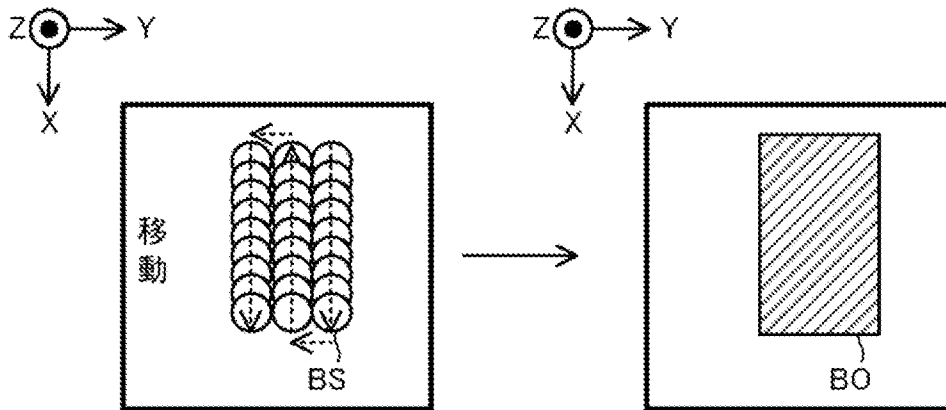
[図46]



[図47]

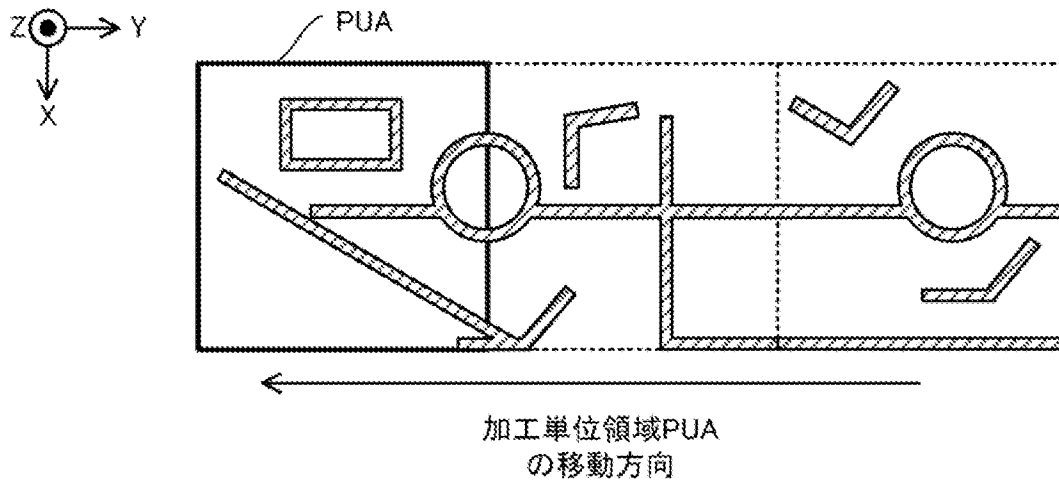


(a)

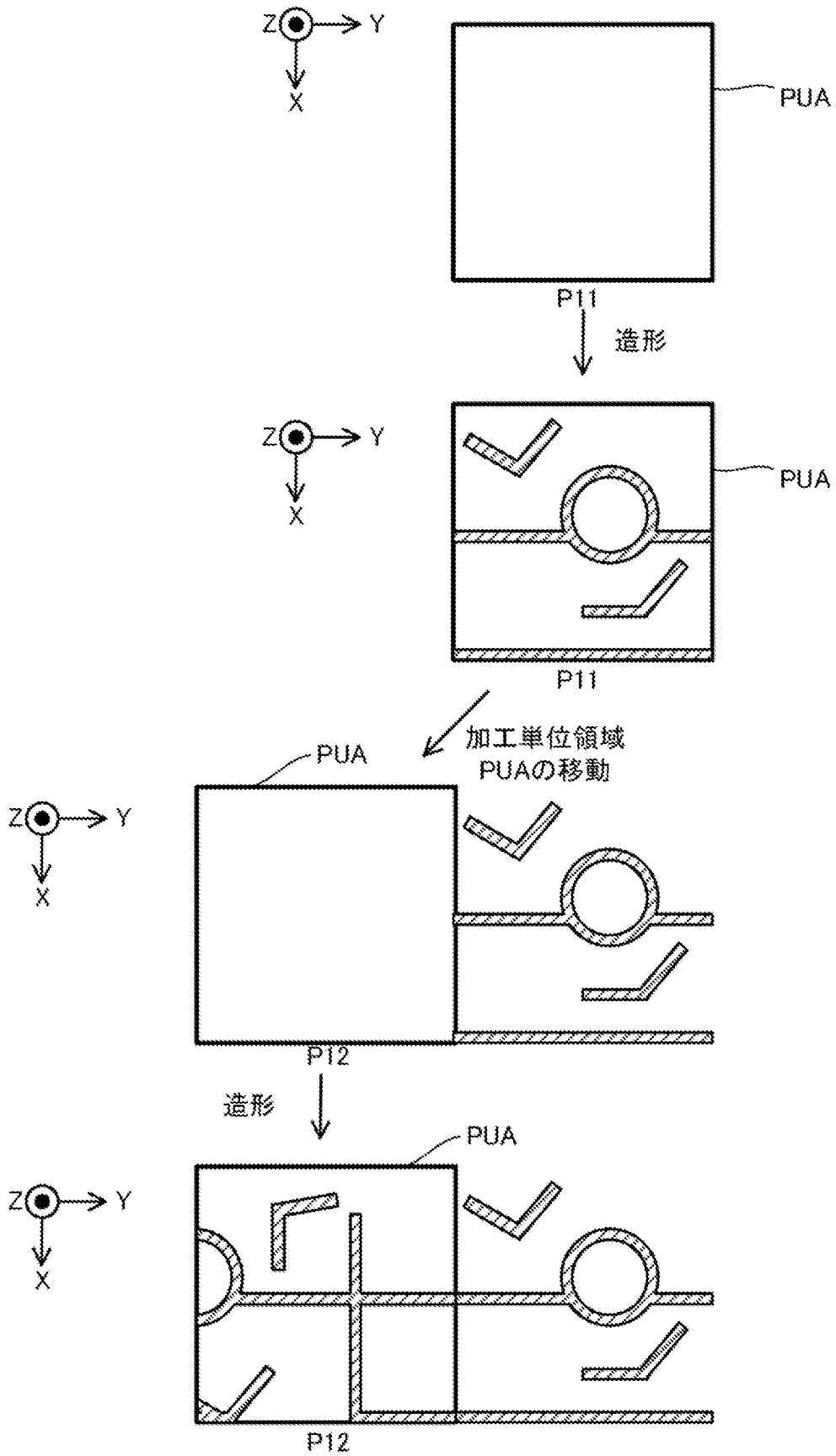


(b)

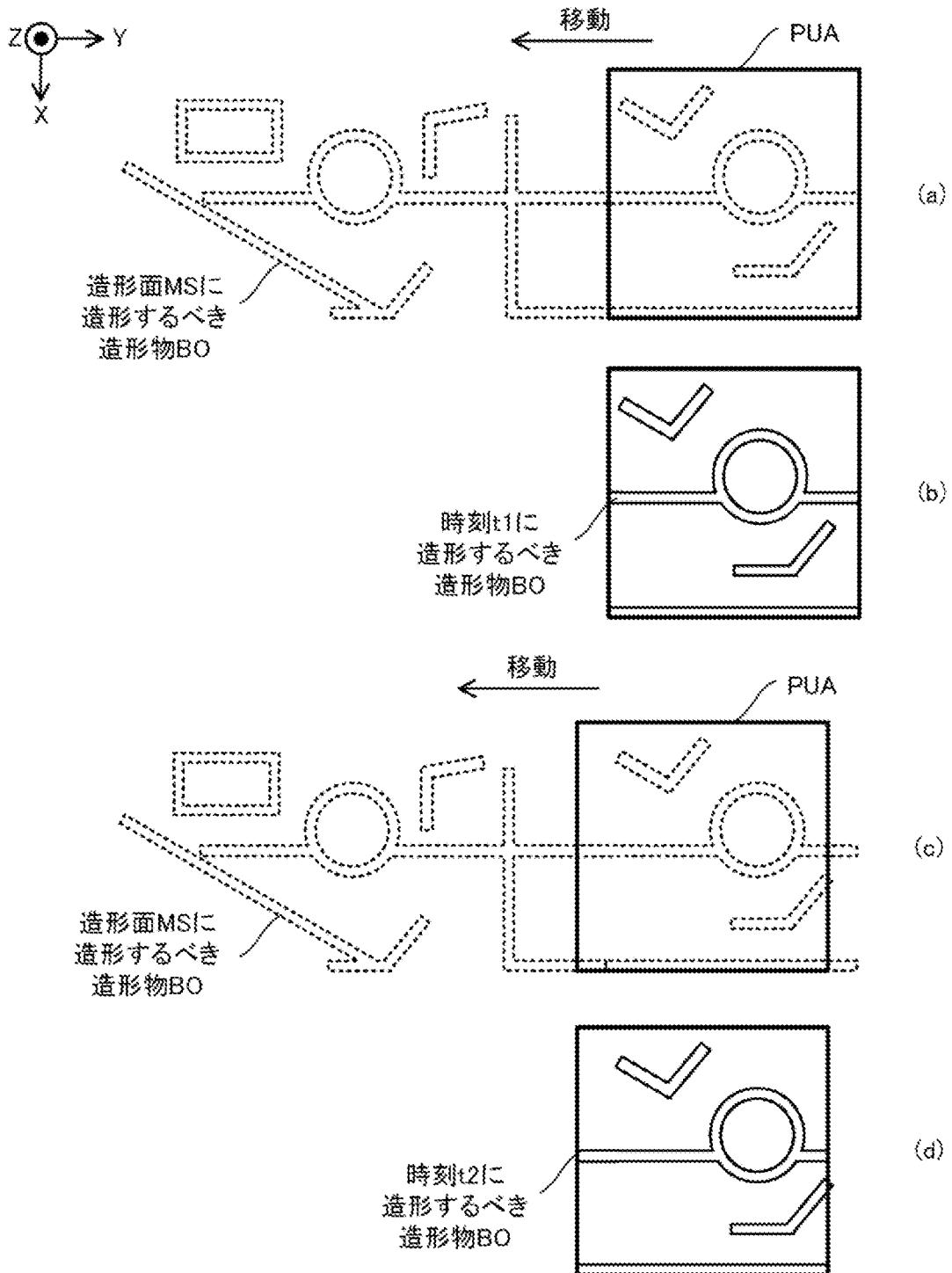
[図48]



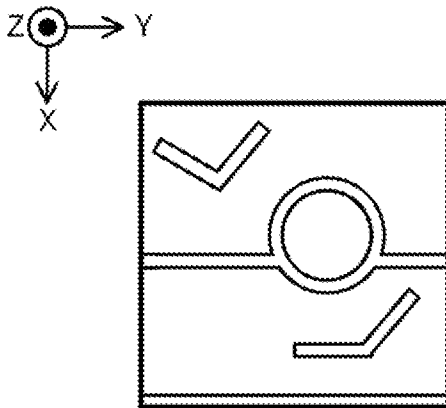
[図49]



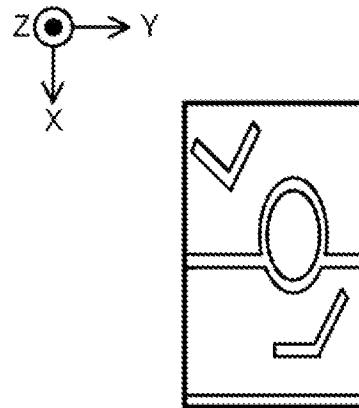
[図50]



[図51]

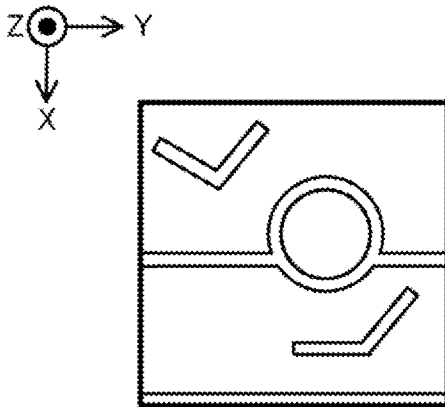


加工単位領域PUAに
造形すべき造形物の
実際の形状パターン

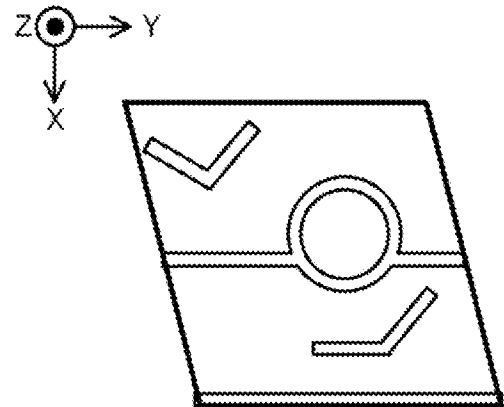


加工単位領域PUAの
移動速度を考慮して
圧縮された形状パターン

[図52]

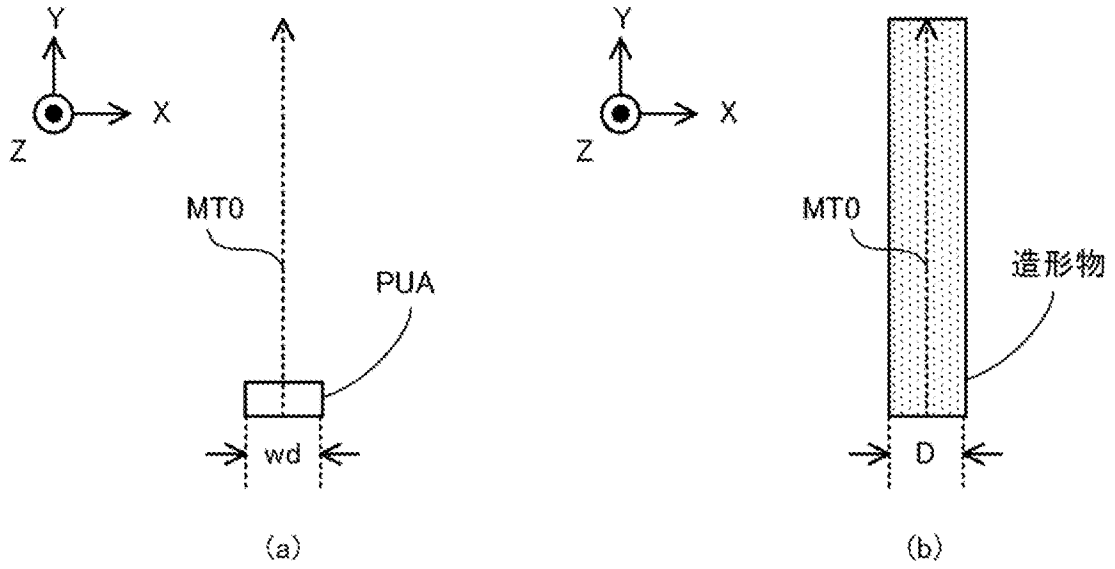


加工単位領域PUAに
造形すべき造形物の
実際の形状パターン

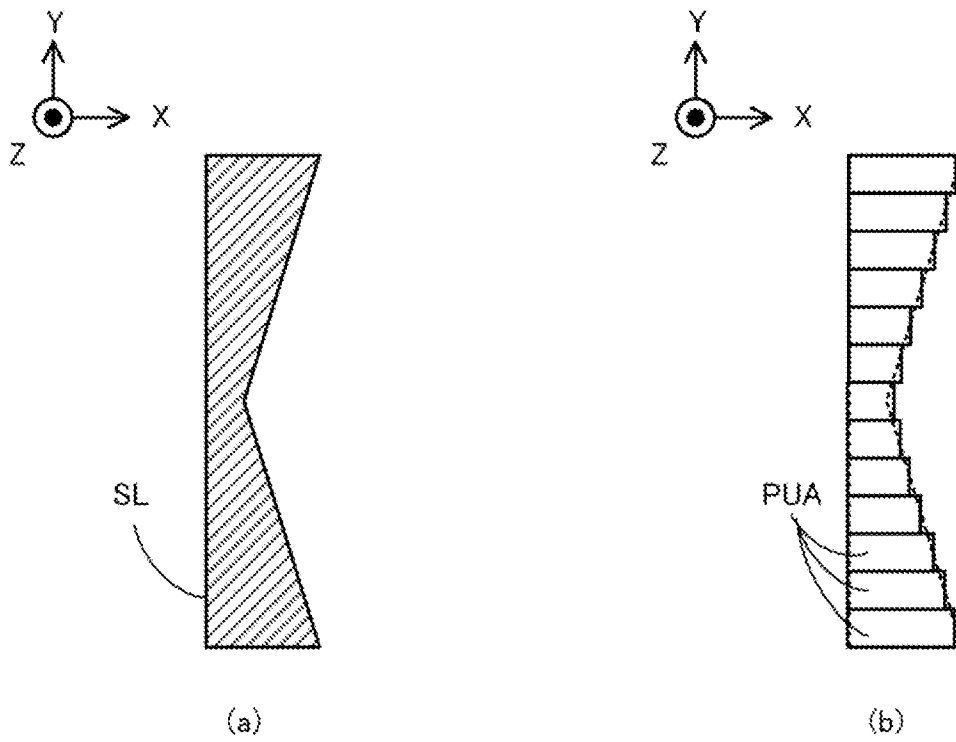


歪んで形成された
形状パターン

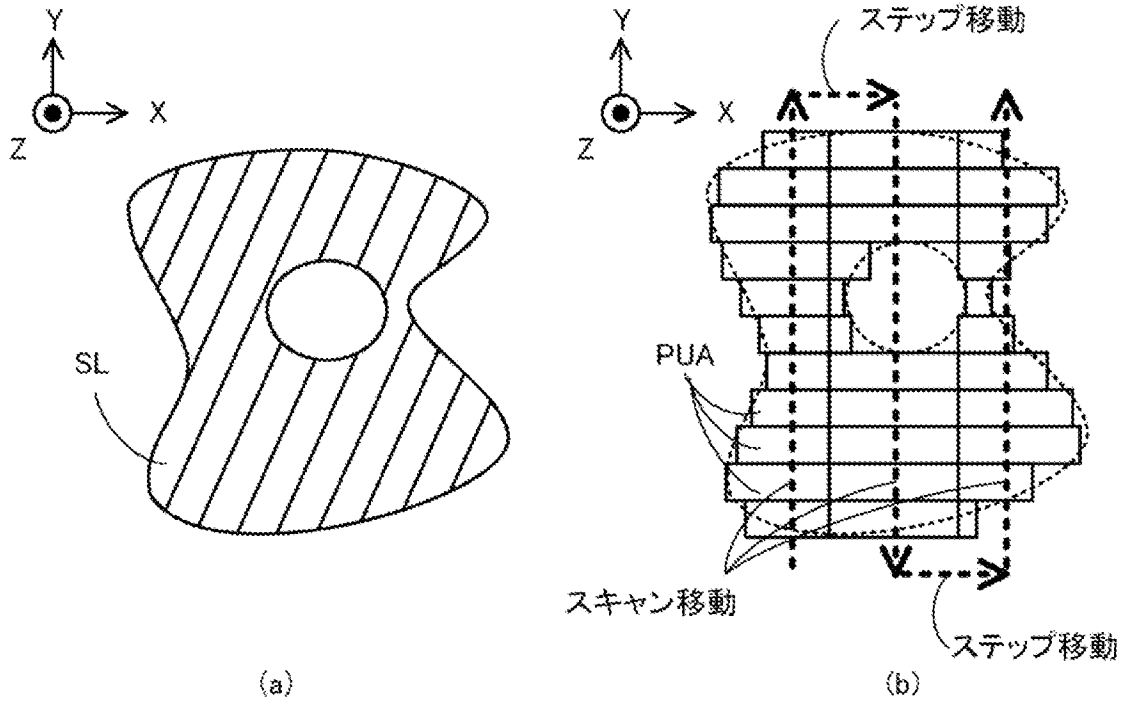
[図53]



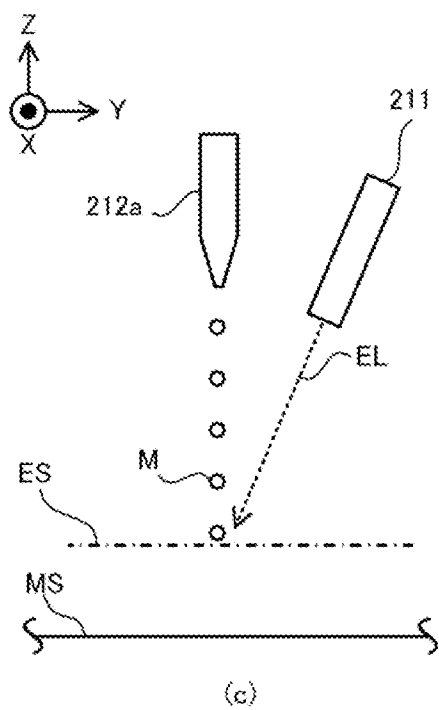
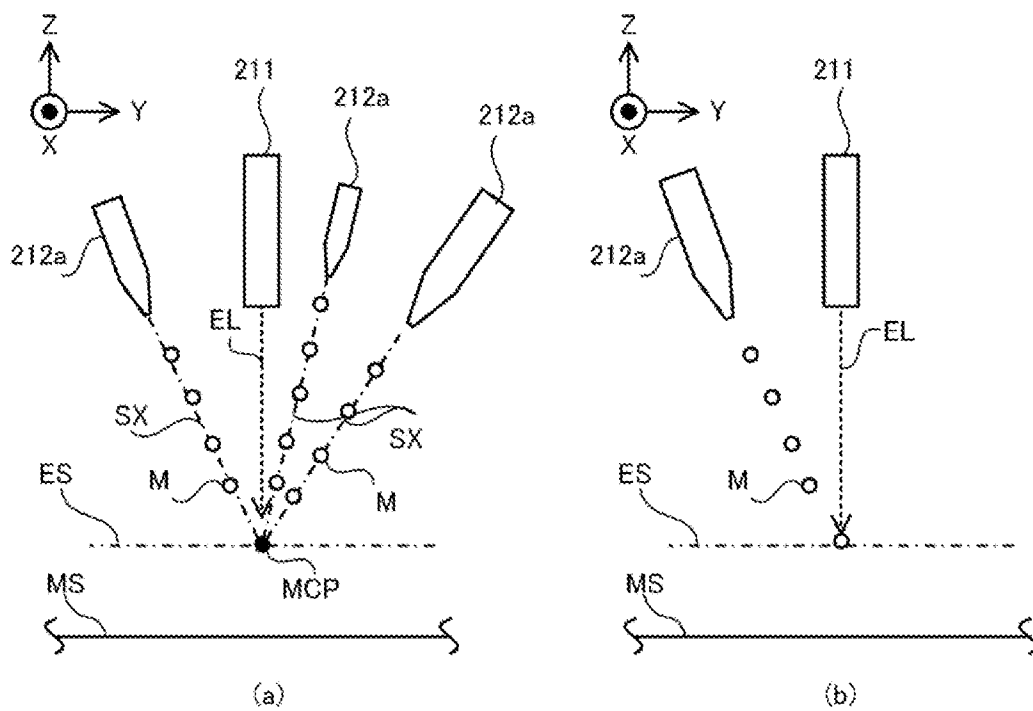
[図54]



[図55]



[図56]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/009803

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>B23K 26/34</i> (2014.01)i; <i>B23K 26/21</i> (2014.01)i FI: B23K26/34; B23K26/21 Z According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B23K26/34; B23K26/21		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2018/0326536 A1 (SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT) 15 November 2018 (2018-11-15) paragraphs [0031]-[0037], fig. 1-4	1, 31-34, 37, 39-40
Y		2-18, 35-36
A		19-30, 38
Y	WO 2022/153666 A1 (EBARA CORPORATION) 21 July 2022 (2022-07-21) paragraphs [0012]-[0013], paragraph [0030], fig. 1-2	2-18, 35-36
Y	WO 2021/149683 A1 (NIKON CORPORATION) 29 July 2021 (2021-07-29) paragraphs [0137]-[0139], fig. 1	16-18
A	JP 2022-32283 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 25 February 2022 (2022-02-25) claims 1-13, fig. 1-34	1-40
A	WO 2015/141030 A1 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 24 September 2015 (2015-09-24) claims 1-11, fig. 1-4	1-40
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 01 May 2023		Date of mailing of the international search report 16 May 2023
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/009803

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	2018/0326536	A1	15 November 2018	WO 2017/080736	A1

WO	2022/153666	A1	21 July 2022	(Family: none)	

WO	2021/149683	A1	29 July 2021	EP 4094875	A1
				paragraphs [0137]-[0139], fig. 1	

JP	2022-32283	A	25 February 2022	(Family: none)	

WO	2015/141030	A1	24 September 2015	US 2016/0311059	A1
				claims 1-11, fig. 1-4	
				CN 106061668	A

JP	2003-251480	A	09 September 2003	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B23K 26/34(2014.01)i; B23K 26/21(2014.01)i FI: B23K26/34; B23K26/21 Z		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） B23K26/34; B23K26/21 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	US 2018/0326536 A1 (SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT) 15.11.2018 (2018-11-15) 段落0031-0037, 図1-4	1, 31-34, 37, 39-40 2-18, 35-36 19-30, 38
Y	WO 2022/153666 A1 (株式会社荏原製作所) 21.07.2022 (2022-07-21) 段落0012-0013, 段落0030, 図1-2	2-18, 35-36
Y	WO 2021/149683 A1 (株式会社ニコン) 29.07.2021 (2021-07-29) 段落0137-0139, 図1	16-18
A	JP 2022-32283 A (三菱電機株式会社) 25.02.2022 (2022-02-25) 請求項1-13, 図1-34	1-40
A	WO 2015/141030 A1 (株式会社東芝) 24.09.2015 (2015-09-24) 請求項1-11, 図1-4	1-40
A	JP 2003-251480 A (トヨタ自動車株式会社) 09.09.2003 (2003-09-09) 請求項1-4, 図1-6	1-40
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 01.05.2023	国際調査報告の発送日 16.05.2023	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 黒石 孝志 3P 9527 電話番号 03-3581-1101 内線 3363	

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/009803

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
US 2018/0326536 A1	15.11.2018	WO 2017/080736 A1	
WO 2022/153666 A1	21.07.2022	(ファミリーなし)	
WO 2021/149683 A1	29.07.2021	EP 4094875 A1 段落0137-0139, 図1	
JP 2022-32283 A	25.02.2022	(ファミリーなし)	
WO 2015/141030 A1	24.09.2015	US 2016/0311059 A1 請求項1-11, 図1-4 CN 106061668 A	
JP 2003-251480 A	09.09.2003	(ファミリーなし)	