

(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
2020年6月11日(11.06.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/116609 A1

(51) 国際特許分類:

B22F 3/105 (2006.01) B29C 64/268 (2017.01)
B22F 3/16 (2006.01) B29C 64/336 (2017.01)
B33Y 30/00 (2015.01) B29C 64/343 (2017.01)
B33Y 40/00 (2020.01) B29C 64/393 (2017.01)
B33Y 50/02 (2015.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2019/047814

(22) 国際出願日: 2019年12月6日(06.12.2019)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:

特願 2018-228886 2018年12月6日(06.12.2018) JP
特願 2018-234110 2018年12月14日(14.12.2018) JP
特願 2019-124359 2019年7月3日(03.07.2019) JP

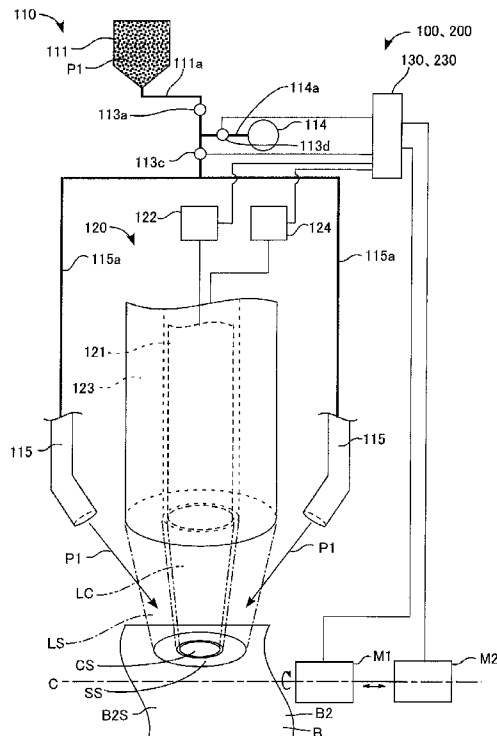
(71) 出願人: 株式会社ジェイテクト (JTEKT CORPORATION) [JP/JP]; 〒5428502 大阪府大阪市中央区南船場三丁目5番8号 Osaka (JP).

(72) 発明者: 長濱 貴也 (NAGAHAMA, Takaya); 〒5428502 大阪府大阪市中央区南船場三丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内 Osaka (JP). 田野 誠(TANO, Makoto); 〒5428502 大阪府大阪市中央区南船場三丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内 Osaka (JP). 椎葉 好一(SHIIBA, Koichi); 〒5428502 大阪府大阪市中央区南船場三丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内 Osaka (JP).

(74) 代理人: 上野 英樹(UENO, Hideki); 〒1700013 東京都豊島区東池袋1-28-1-901 U P S C上野特許事務所 Tokyo (JP).

(54) Title: ADDITIVE MANUFACTURING DEVICE

(54) 発明の名称: 付加製造装置



(57) Abstract: An additive manufacturing device that uses one material out of a powder material and a linear material and forms a molded article on a base. The additive manufacturing device comprises: an additive material supply unit; a light irradiation unit; and a control unit that controls the supply of the one material, the irradiation of a light beam, and the relative movement of the light beam. The light irradiation unit includes a central light beam irradiation unit and an outside light beam irradiation unit. The control unit independently controls the output conditions for the central light beam irradiation unit and the output conditions for the outside light beam irradiation unit. The control unit: increases the peak in a power density distribution shape for the central light beam to greater than the peak in the power density distribution shape for the outside light beam; and forms a molded article.

(57) 要約: 粉末状材料及び線状材料のうち一方の材料を用いて基台に造形物を形成する付加製造装置は、付加材料供給ユニットと、光照射ユニットと、一方の材料を供給すること、光ビームを照射すること、及び光ビームを相対的に移動させること、を制御する制御ユニットと、を備える。光照射ユニットは、中央光ビーム照射部、及び外側光ビーム照射部を含む。制御ユニットは、中央光ビーム照射部の出力条件と外側光ビーム照射部の出力条件を独立して制御し、制御ユニットは、中央光ビームのパワー密度の分布形状におけるピークを外側光ビームのパワー密度の分布形状におけるピークより増加させて造形物を形成する。

(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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, 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, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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：付加製造装置

技術分野

[0001] 本開示は、付加製造装置に関する。

背景技術

[0002] 日本国特開 2 0 1 5 - 1 9 6 2 6 5 号公報に記載のように、付加製造装置に適用される LMD (L a s e r M e t a l D e p o s i t i o n) 法は、金属の基台に対し同種や異種の金属の粉末材料を噴射して供給するとともにレーザ光を照射し、粉末材料を溶融させた後、凝固させて基台に造形物を付加する肉盛技術（物性の部分制御加工）として利用されている。LMD 法は、SLM (S e l e c t i v e L a s e r M e l t i n g) 法では困難な複数の粉末材料の成分比を調整して供給でき、SLM 法に比べて形状自由度が高く、約 5 - 1 0 倍の高速造形が可能である。

[0003] LMD 法では、例えば、炭素鋼 (S 4 5 C) で成る基台に炭化タングステン (WC) など成る硬質の造形物を付加する場合、急加熱時にスパッタが発生するおそれがあり、また急冷凝固時に割れが発生するおそれがあり、硬質の造形物の品質が低下する。

[0004] また、LMD 法では、例えば、鉄系材料で成る基台に銅 (C u) で成る造形物を付加する場合、鉄と銅のレーザ吸収率（熱伝導率）の違いから銅で成る造形物を炭素鋼で成る基台に安定して付加することが困難である。

発明の概要

[0005] 本開示は、高品質な造形物を付加できる付加製造装置を提供し、造形物を安定して付加できる付加製造装置を提供する。

[0006] (1 . 付加製造装置の一態様)

本発明に係る一態様の付加製造装置によれば、粉末状材料及び線状材料のうち一方の材料を用いて基台に造形物を形成するように構成される付加製造装置は、前記基台に対し前記一方の材料を供給するように構成される付加材

料供給ユニットと、前記基台上に前記一方の材料が供給される供給部に対し光ビームを照射するように構成される光照射ユニットと、前記付加材料供給ユニットによる前記一方の材料を供給すること、前記光照射ユニットによる光ビームを照射すること、及び前記基台に対して前記光ビームを相対的に移動させること、を制御するように構成される制御ユニットと、を備える。

[0007] 前記光照射ユニットは、前記一方の材料の前記供給部の中央部に中央光ビームを照射する中央光ビーム照射部及び前記中央光ビームの外側に外側光ビームを照射する外側光ビーム照射部を含み、前記光ビームは、前記中央光ビーム及び外側光ビームを有し、前記制御ユニットは、前記中央光ビーム照射部の出力条件と前記外側光ビーム照射部の出力条件を独立して制御するように構成され、前記中央光ビームは、前記中央光ビーム照射部の前記出力条件に関連するパワー密度を有し、前記外側光ビームは前記外側光ビーム照射部の前記出力条件に関連するパワー密度を有し、前記制御ユニットは、前記中央光ビームの前記パワー密度の分布形状におけるピークを前記外側光ビームの前記パワー密度の分布形状におけるピークより増加させて前記造形物を形成するように構成される。

[0008] 本発明の一態様によれば、外側光ビームで造形物の付加処理の前処理として予熱処理を行うことができるので、中央光ビームのパワー密度のレーザービームプロファイルにおけるピークを大きく高める必要はない。これにより、中央光ビームによる急加熱を低減でき、スパッタの発生を抑制できる。また、外側光ビームで造形物の付加処理の後処理として保温処理を行うことができるので、造形物の急凝固を抑制でき、割れの発生を防止できる。よって、基台に対し高品質な造形物を付加できる。

[0009] (2. 付加製造装置の他の態様)

本発明に係る他の態様の付加製造装置によれば、複数種の粉末状材料を用いて基台に造形物を形成するように構成される付加製造装置は、前記複数種の粉末状材料の成分比を調整する成分比調整ユニットを有し、前記基台に対し前記成分比調整ユニットが前記成分比を調整した後の調整済粉末状材料を

噴射するように供給するように構成される付加材料供給ユニットと、前記基台上に前記調整済粉末状材料が供給される供給部に対し光ビームを照射するように構成される光照射ユニットと、前記付加材料供給ユニットによる前記調整済粉末状材料を供給すること、前記光照射ユニットによる光ビームを照射すること、及び前記基台に対して前記光ビームを相対的に移動させることを制御するように構成される制御ユニットと、を備える。

[0010] 前記光照射ユニットは、前記調整済粉末状材料の前記供給部の中央部に中央光ビームを照射する中央光ビーム照射部及び前記中央光ビームの外側に外側光ビームを照射する外側光ビーム照射部を含み、前記光ビームは、前記中央光ビーム及び外側光ビームを有し、

前記制御ユニットは、前記基台の表面に前記成分比が厚さ方向に徐々に変化する中間造形物を形成するとき、前記成分比の変化に応じて前記中央光ビーム照射部の出力条件と前記外側光ビーム照射部の出力条件を独立して制御するように構成される。

[0011] 本発明の他の態様によれば、基台の周面と中間造形物との熱膨張率差は、基台の周面と中間造形物との境界に近づくほど徐々に減少するよう形成できる。また、中間造形物と造形物との熱膨張率差は、中間造形物 F C と造形物 F F の境界に近づくほど徐々に減少するよう形成できる。これにより、基台 B に中間造形物 F C を付加し、中間造形物 F C に造形物 F F を付加することで、熱膨張率差による割れの発生を大幅に抑制できる。

(3. 付加製造装置の他の態様)

[0012] 本発明に係る他の態様の付加製造装置によれば、粉末状材料を用いて基台に造形物を形成するように構成される付加製造装置であって、前記基台に対し前記粉末状材料を噴射するように供給するように構成される付加材料供給ユニットと、前記基台上に前記粉末状材料が供給される供給部に対し光ビームを照射するように構成される光照射ユニットと、前記付加材料供給ユニットによる前記粉末状材料を供給すること、前記光照射ユニットによる光ビームを照射すること、及び前記基台に対して前記光ビームを相対的に移動させ

ることを制御するように構成される制御ユニットと、を備える。

[0013] 前記光照射ユニットは、前記粉末状材料の前記供給部の中央部に中央光ビームを照射する中央光ビーム照射部及び前記中央光ビームの外側に外側光ビームを照射する外側光ビーム照射部を含み、前記光ビームは、前記中央光ビーム及び外側光ビームを有し、前記制御ユニットは、前記粉末状材料の光ビーム吸収率に応じて、前記中央光ビーム照射部の出力条件と前記外側光ビーム照射部の出力条件を独立して制御するように構成され、前記中央光ビームは、前記中央光ビーム照射部の前記出力条件に関連するパワー密度を有し、前記外側光ビームは前記外側光ビーム照射の前記出力条件に関連するパワー密度を有し、前記制御ユニットは、前記中央光ビーム部の前記パワー密度の分布形状におけるピークと前記外側光ビームの前記パワー密度の分布形状におけるピークを調整して前記造形物を形成するように構成される。

[0014] これにより、粉末材料の光ビーム吸収率が高くても、急加熱を防止してスパッタの発生の抑制が可能となる。また、粉末材料の光ビーム吸収率が低くても、温度を上昇させて温度に比例する光ビーム吸収率の向上が可能となる。そして、中央光ビームと外側光ビームのトータルのレーザ出力を維持することができ、造形物の高速付加が可能となる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]図1は、本開示の第一、第二実施形態に係る付加製造装置の概要図である。

[図2A]図2Aは、図1の付加製造装置で造形物を付加する基台を示す斜視図である。

[図2B]図2Bは、造形物を付加した図2Aの基台を中心軸線方向から見た図である。

[図3A]図3Aは、図1の付加製造装置で基台に造形物を付加する場合の第一段階（基台の周面の初期の予熱処理）におけるパワー密度とレーザ光照射範囲との関係を示す図である。

[図3B]図3Bは、図1の付加製造装置で基台に造形物を付加する場合の第二

段階（造形物の付加処理）におけるパワー密度とレーザ光照射範囲との関係を示す図である。

[図4A]図4 Aは、第一実施形態に係る付加製造装置で造形物を付加する際の基台に付加した造形物の初期状態を示す断面図である。

[図4B]図4 Bは、図4 Aの状態から走査が進んだときの基台に付加した造形物の途中状態及び付加状態を示す断面図である。

[図5]図5は、第一実施形態に係る付加製造装置の動作を説明するためのフローチャートである。

[図6A]図6 Aは、第二実施形態に係る付加製造装置の作動における光ビームの各走査状態を説明する第一図である。

[図6B]図6 Bは、第二実施形態に係る付加製造装置の作動における光ビームの各走査状態を説明する第二図である。

[図6C]図6 Cは、第二実施形態に係る付加製造装置の作動における光ビームの各走査状態を説明する第三図である。

[図7]図7は、図6 A－図6 Cの状態における基台の周面上のJ部の温度変化を示すグラフである。

[図8]図8は、本開示の第三、第四実施形態に係る付加製造装置の概要図である。

[図9]図9は、図2 Bに対応する図であり、第三、第四実施形態の付加製造装置で造形物を付加した基台を中心軸線方向から見た図である。

[図10A]図10 Aは、第三実施形態における図8の付加製造装置で基台に造形物を付加する場合の第一段階（基台の周面の初期の予熱処理）におけるパワー密度とレーザ光照射範囲の関係を示す図である。

[図10B]図10 Bは、第三実施形態における図8の付加製造装置で基台に造形物を付加する場合の第二段階（中間造形物の付加処理）におけるパワー密度とレーザ光照射範囲の関係を示す図である。

[図10C]図10 Cは、第三実施形態における図8の付加製造装置で基台に造形物を付加する場合の第三段階（造形物の付加処理）におけるパワー密度とレ

ーザ光照射範囲の関係を示す図である。

[図11A]図11Aは、第三実施形態に係る付加製造装置で造形物を付加する際
の中間造形物FCに付加した造形物の初期状態を示す断面図である。

[図11B]図11Bは、図11Aの状態から走査が進んだときの中間造形物FC
に付加した造形物の途中状態及び付加状態を示す断面図である。

[図12]図12は、第三実施形態に係る付加製造装置の動作を説明するための
フローチャートである。

[図13]図13は、第四実施形態に係る付加製造装置の動作を説明するための
フローチャートである。

[図14A]図14Aは、第四実施形態に係る付加製造装置で造形物を付加する第
一段階（基台の周面の予熱処理）のパワー密度とレーザ光照射範囲の関係を
示す図である。

[図14B]図14Bは、第四実施形態に係る付加製造装置で造形物を付加する第
二段階（中間造形物の付加処理）の初期のパワー密度とレーザ光照射範囲の
関係を示す図である。

[図14C]図14Cは、第四実施形態に係る付加製造装置で造形物を付加する第
二段階（中間造形物の付加処理）の中期のパワー密度とレーザ光照射範囲の
関係を示す図である。

[図14D]図14Dは、第四実施形態に係る付加製造装置で造形物を付加する第
二段階（中間造形物の付加処理）の終期のパワー密度とレーザ光照射範囲の
関係を示す図である。

[図14E]図14Eは、第四実施形態に係る付加製造装置で造形物を付加する第
三段階（上部造形物の付加処理）の初期のパワー密度とレーザ光照射範囲の
関係を示す図である。

[図14F]図14Fは、第四実施形態に係る付加製造装置で造形物を付加する第
三段階（上部造形物の付加処理）の終期のパワー密度とレーザ光照射範囲の
関係を示す図である。

[図15A]図15Aは、第四実施形態に係る付加製造装置で上部造形物を付加す

る際の基台に付加した中間造形物の初期状態を示す断面図である。

[図15B]図15Bは、図15Aの状態から走査が進んだときの基台に付加した中間造形物の途中状態及び上部造形物の付加状態を示す断面図である。

[図16]図16は、付加製造装置の光照射ユニットのその他の実施形態を示す概要図である。

発明を実施するための形態

[0016] <1. 第一実施形態>

(1-1. 付加製造装置の概要)

本開示の第一実施形態に係る付加製造装置の概要について説明する。第一実施形態に係る付加製造装置は、LMD法により1種の粉末材料を用いて基台に造形物を付加する。粉末材料と基台は、異なる種類の材料でもよく、同一種類の材料でもよい。

[0017] 本例では、炭化タングステン(WC)の粉末材料(以下、第一粉末材料という)で成る造形物を、炭素鋼(S45C)で成る基台Bに付加する場合について説明する。なお、この付加製造の際には、第一粉末材料の他に第一粉末材料のバインダの役割を担うニッケル(Ni)、コバルト(Co)等の粉末材料(以下、結合粉末材料という)も用いる。

[0018] 図1に示すように、付加製造装置100は、付加材料供給ユニット110、光照射ユニット120及び制御ユニット130等を備える。ここでは、付加製造装置100が、図2Aに示すように、大径の円盤部材B1の両側面に小径の円筒部材B2、B2が同軸で一体化された形状の基台Bにおける、円筒部材B2、B2の開放端部側の網線で示す周面(軸受(図示省略)の支持部)B2S、B2Sに造形物FFを付加する場合について説明する。

[0019] この付加製造の際、図1に示すように、付加製造装置100は、基台Bを、モータM1により中心軸線C回りに回転させるとともに、モータM2により中心軸線C方向に移動させる。これにより、円筒部材B2、B2の開放端部側の周面B2S、B2S全体に造形物を付加できる。詳細は後述するが、造形物は、造形物FF(図2B参照)による1層構造となっている。

- [0020] 図1に示す付加材料供給ユニット110は、第1ホッパ111、ガスボンベ114及び噴射ノズル115を備える。第1ホッパ111は、結合粉末材料が混合された第一粉末材料P1を貯蔵する。本例では、造形物FFは、大量の第一粉末材料P1と少量の結合粉末材料で成るため、第一粉末材料P1に混合する結合粉末材料の量は、造形物FFにおける結合粉末材料の量に対応した量とする。
- [0021] 粉末導入バルブ113aは、第1ホッパ111と配管111aで接続される。粉末供給バルブ113cは、噴射ノズル115と配管115aで接続される。また、ガス導入バルブ113dは、ガスボンベ114に配管114aで接続される。
- [0022] 噴射ノズル115は、例えば、ガスボンベ114から供給される高圧の窒素により、第一粉末材料P1を、基台Bの円筒部材B2の周面B2Sに対し噴射して供給する。噴射ノズル115は、本例では、2本を180度隔てて配置した場合を示すが、一本もしくは等角度間隔で配置される三本以上の噴射ノズルを備える構成としてもよい。また、第一粉末材料P1の供給用のガスは、窒素に限定されるものではなく、アルゴン等の不活性ガスでもよい。
- [0023] 光照射ユニット120は、中央光ビーム照射部121、中央光ビーム光源122、外側光ビーム照射部123及び外側光ビーム光源124を備える。光照射ユニット120は、基台Bの円筒部材B2の周面B2S（第一粉末材料P1の供給部）に対し、中央光ビーム光源122から中央光ビーム照射部121を通して中央光ビームLCを照射するとともに、外側光ビーム光源124から外側光ビーム照射部123を通して外側光ビームLSを照射する。
- [0024] 本例では、中央光ビーム照射部121は、円形状の照射形状（中央光照射範囲CS）となる中央光ビームLCを照射する。また、外側光ビーム照射部123は、中央光ビームLCの外周を囲うリング状の照射形状（外側光照射範囲SS）となる外側光ビームLSを照射する。中央光ビームLCは、基台Bの円筒部材B2の周面B2Sにおいて造形物FFを付加する役割を担う。外側光ビームLSの役割は後述する。なお、中央光ビームLC及び外側光ビ

ームL Sとしては、レーザ光を用いているが、レーザ光に限定されず、電磁波であれば例えば電子ビームでもよい。

[0025] 制御ユニット130は、付加材料供給ユニット110の粉末供給、及び光照射ユニット120の光照射を制御するとともに、基台Bの円筒部材B2の周面B2Sに対する中央光ビームLC及び外側光ビームLSの相対的な走査を制御する。すなわち、制御ユニット130は、粉末供給バルブ113c及びガス導入バルブ113dの開閉を制御して、噴射ノズル115からの第一粉末材料P1の噴射供給を制御する。

[0026] また、制御ユニット130は、中央光ビーム光源122及び外側光ビーム光源124の動作をそれぞれ制御して、中央光ビームLC及び外側光ビームLSの各出力条件、すなわち中央光ビームLC及び外側光ビームLSの各レーザ出力や、中央光照射範囲CS及び外側光照射範囲SSの各単位面積当たりのレーザ出力（パワー密度）の分布形状（レーザビームプロファイル）をそれぞれ独立して制御する。

[0027] また、制御ユニット130は、モータM1の回転を制御して基台Bを中心軸線C回りに回転させるとともに、モータM2の回転を制御して基台Bを中心軸線C方向に移動させることで、基台Bの円筒部材B2の周面B2Sに対する中央光ビームLC及び外側光ビームLSの相対的な走査を制御する。

[0028] （1－2．造形物の付加方法）

次に、造形物の付加方法について説明する。ここで、背景技術で述べたように、LMD法では、基台に硬質の造形物を付加する場合、急加熱時にスパッタが発生するおそれがあり、また急凝固時に割れが発生するおそれがあり、造形物の精度が低下する問題がある。

[0029] 本開示では、中央光ビームLC及び外側光ビームLSの各レーザ出力や各パワー密度のレーザビームプロファイルをそれぞれ独立して制御することで、スパッタ及び割れの発生が抑制される。具体的には、図2Bに示すように、基台Bの円筒部材B2の周面B2Sに造形物FFが付加される。

[0030] 造形物FFの付加方法では、第一段階として、外側光ビームLSにより、

造形物 F F の付加処理における前処理として初期の予熱処理を行う。このとき、本開示に係る造形物 F F の付加処理は、第二段階における処理である。基台 B の周面 B 2 S の温度が低い状態では、レーザ照射による熱エネルギーが基台 B に逃げ易く、第二段階で行う造形物 F F の付加処理において、溶融の不良要因となり易いため、第一段階で基台 B の周面 B 2 S を予熱するものである。このとき、初期の予熱処理における中央光ビーム L C 及び外側光ビーム L S のレーザ出力は、基台 B の周面 B 2 S が溶融せずに所定の温度となるように制御される。

[0031] すなわち、第一段階では、制御ユニット 130 は、第一粉末材料 P 1 の供給は行わず、図略の温度測定器からの中央光ビーム L C の中央光照射範囲 C S 及び外側光ビーム L S の外側光照射範囲 S S の測定温度を監視しつつ、図 3 A のパワー密度のグラフに示すように、中央光ビーム L C のパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピーク L C P 1 を、外側光ビーム L S のパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピーク L S P 1 より減少させる制御を行う。

[0032] 中央光ビーム L C のパワー密度のピーク L C P 1 を、外側光ビーム L S のパワー密度のピーク L S P 1 より減少させる理由としては、中央光ビーム L C は外側光ビーム L S に囲まれるため、中央光ビーム L C による熱はこもり易く、外側光ビーム L S による熱は外方へ逃げ易いためである。このように、中央光ビーム L C のパワー密度は低いため、中央光ビーム L C の過入熱によるスパッタの発生を抑制できる。また、ピーク L C P 1 を抑制しつつもレーザ出力全体として大きなエネルギーを投入できるので、スパッタの発生を抑制しつつ効率良く予熱ができる。

[0033] 次に、第二段階として、図 4 A に示すように、中央光ビーム L C を照射することにより、中央光照射範囲 C S において、基台 B の周面 B 2 S 及び第一粉末材料 P 1 を溶融して溶融池 M P （第一溶融池に相当する）を形成する溶融処理（第 1 溶融処理に相当する）を行う。また、このとき同時に、外側光ビーム L S の外側光照射範囲 S S の走査の方向 S D （図 4 B 参照）における

前側の照射範囲SSFで、外側光ビームLSの一部である第一光ビームBe1により溶融池MPの形成処理（第一形成処理に相当する）の前処理としての予熱処理（第一予熱処理に相当する）を行う。

[0034] そして、図4Bに示すように、中央光ビームLCを走査の方向SD（走査方向SD）に走査（本例では、基台Bが回転して走査するが、図4Bでは便宜上、中央光ビームLCを走査すると記載）することで溶融池MPを拡大させ、基台Bに第一粉末材料P1から成る造形物FFを付加する。

[0035] そして、このとき同時に、外側光ビームLSの外側光照射範囲SSの走査方向SDにおける前側の照射範囲SSFで第一光ビームBe1（外側光ビームLS）が、溶融池MPの形成処理の前処理としての予熱処理を行うとともに、外側光ビームLSの外側光照射範囲SSの走査方向SDにおける後側の照射範囲SSBで外側光ビームLSの一部である第二光ビームBe2が、造形物FFの付加処理の後処理としての保温処理（第一保温処理に相当する）を行う。

[0036] このとき、制御ユニット130は、図3Bに示すように、中央光ビームLCのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークLCP3を、外側光ビームLSのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークLSP3より増加させる制御を行う。中央光ビームLCのレーザ出力は、第一粉末材料P1を溶融して溶融池MPを形成できる温度となるように制御される。また、外側光ビームLS（第一光ビームBe1、第二光ビームBe2）のレーザ出力は、第一粉末材料P1及び造形物FFが溶融せずに所定の温度となるように制御される。

[0037] 以上のように、外側光ビームLSの外側光照射範囲SSの走査方向SDにおける前側の照射範囲SSFで、第一光ビームBe1（外側光ビームLS）が、溶融池MPの形成処理の前処理として予熱処理を行うことで、基台Bの周面B2Sは、高温状態となる。このため、中央光ビームLCのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークLCP3を大きく高める必要はない。

[0038] これにより、中央光ビームLCによる周面B2Sの急加熱を低減でき、スパッタの発生を抑制できる。また、外側光ビームLSの外側光照射範囲SSの走査方向SDにおける後側の照射範囲SSBにおいて、第二光ビームBe2が、熔融池MPの形成処理の後処理として保温処理を行うことで、造形物FFの急凝固を抑制でき、割れの発生を防止できる。

[0039] (1-3. 付加製造装置の動作)

次に、付加製造装置100により、基台Bの一方の円筒部材B2の周面B2Sに造形物FFを付加する動作について図5のフローチャートを参照して説明する。なお、第1ホッパ111には、結合粉末材料が混合された第一粉末材料P1が貯蔵されているものとする。

[0040] また、基台Bの一方の円筒部材B2の周面B2Sの一端は、付加製造装置100における所定の付加位置に位置決めされているものとする。また、制御ユニット130には、上述の第一、第二段階における中央光ビームLC及び外側光ビームLSの各レーザ出力や各パワー密度のレーザビームプロファイルの各ピークLCP3、LSP3等、第一粉末材料P1の供給量、基台Bの回転速度及び移動速度のデータ等が予め記憶されている。

[0041] 先ず、制御ユニット130は、上述の第一段階（基台Bの周面B2Sに対する初期の予熱処理）を実行するため、基台Bの回転及び移動を開始すると同時に、光照射ユニット120をオンにする（図5のステップS1）。具体的には、制御ユニット130は、モータM1、M2を駆動して基台Bを中心軸線C回りに回転させるとともに中心軸線C方向（周面B2Sの他端方向）に移動させる。

[0042] 同時に、制御ユニット130は、中央光ビーム光源122をオンにして中央光ビーム照射部121から中央光ビームLCを基台Bの周面B2Sに照射するとともに、外側光ビーム光源124をオンにして外側光ビーム照射部123から外側光ビームLSを基台Bの周面B2Sに照射し、基台Bの周面B2Sに対する初期の予熱処理を実行する。

[0043] そして、制御ユニット130は、基台Bの周面B2Sに対し初期の予熱処

理が完了したか否かを判断し（図5のステップS2）、初期の予熱処理が完了したら、光照射ユニット120をオフにして基台Bを第一段階の開始位置に戻し、基台Bの回転及び移動を停止する（図5のステップS3）。

[0044] 次に、制御ユニット130は、上述の第二段階（造形物FFの付加処理）を実行するため、付加材料供給ユニット110をオンにし、基台Bの回転及び移動を開始すると同時に、光照射ユニット120をオンにする（図5のステップS4）。具体的には、制御ユニット130は、ガス導入バルブ113d及び粉末供給バルブ113cを開いて、ガスボンベ114からの高圧の窒素により第一粉末材料P1を噴射ノズル115から基台Bの周面B2Sに噴射して供給する。また、制御ユニット130は、中央光ビーム光源122をオンにして中央光ビーム照射部121から中央光ビームLCを基台Bの周面B2Sに照射するとともに、外側光ビーム光源124をオンにして外側光ビーム照射部123から外側光ビームLSを基台Bの周面B2Sに照射する。

[0045] そして、制御ユニット130は、モータM1、M2を駆動して基台Bを中心軸線C回りに回転するとともに中心軸線C方向（周面B2Sの他端方向）に移動させる。このとき、上述したように、外側光ビームLSの走査方向SDにおける前側の照射範囲SSFに照射される外側光ビームLS（第一光ビームBe1）によって、溶融池MPの形成処理に対する前処理としての予熱処理が行われる。また、同時に、外側光ビームLSの走査方向SDにおける後側の照射範囲SSBに照射される外側光ビームLS（第二光ビームBe2）によって、造形物FFの付加処理に対する後処理として保温処理が行われる。

[0046] これにより、第一光ビームBe1が照射された後に中央光ビームLCが照射される中央光照射範囲CSでは、予熱処理が行われた状態で、走査方向SDへの走査に応じて順次、溶融池MPが良好に形成できる。また、第二光ビームBe2（外側光ビームLS）が照射される外側光照射範囲SSでは、走査方向SDへの走査に応じ、形成後の溶融池MPが順次良好に保温される。これにより、スパッタがなく、割れもない造形物FFが形成される。

[0047] そして、制御ユニット130は、基台Bの周面B2Sに付加した造形物FFの付加処理が完了したか否かを判断する（図5のステップS5）。そして、造形物FFの付加処理が完了したら、付加材料供給ユニット110及び光照射ユニット120をオフにし、基台Bの回転及び移動を停止して（図5のステップS6）、全ての処理を終了する。

[0048] （1－4. 第一実施形態による効果）

上記第一実施形態によれば、付加製造装置100は、粉末材料を用いて基台Bに造形物を付加する装置である。付加製造装置100は、基台Bに対し第一粉末材料P1を噴射して供給する付加材料供給ユニット110と、基台Bにおける第一粉末材料P1の供給部（周面B2S）に対し光ビームを照射する光照射ユニット120と、付加材料供給ユニット110の第一粉末材料P1の供給、及び光照射ユニット120の光照射を制御するとともに、基台Bに対する光ビームの相対的な走査を制御する制御ユニット130とを備える。

[0049] 光照射ユニット120は、第一粉末材料P1の供給部（周面B2S）の中央に中央光ビームLCを照射する中央光ビーム照射部121、及び中央光ビームLCの外側に外側光ビームLSを照射する外側光ビーム照射部123を有する。そして、制御ユニット130は、中央光ビーム照射部121の出力条件と外側光ビーム照射部123の出力条件を独立して制御することで、中央光ビームLCのパワー密度のビームプロファイルにおけるピークLCP3を外側光ビームLSのパワー密度のビームプロファイルにおけるピークLSP3より増加させて造形物FFを付加する。

[0050] このように、第一光ビームBe1（外側光ビームLS）によって、造形物FFの付加処理の前処理としての予熱処理（第一予熱処理）を行うことができるので、中央光ビームLCのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークLCP3を大きくする必要はない。これにより、中央光ビームLCの照射による基台Bの周面B2Sの急加熱を低減でき、スパッタの発生を抑制できる。また、第二光ビームBe2（外側光ビームLS）によって、造

形物 F F の付加処理の後処理として保温処理を行うことができるので、造形物 F F の急凝固を抑制でき、割れの発生を防止できる。よって、基台 B に対し高品質な造形物 F F を付加できる。

[0051] また、上記第一実施形態によれば、制御ユニット 130 は、中央光ビーム LC と外側光ビーム LS とを同一の走査方向 SD に走査し、中央光ビーム LC で基台 B の中央光照射範囲 CS における溶融池 MP（第一溶融池）の形成処理（第一形成処理）及び第一粉末材料 P1 の溶融処理（第一溶融処理）を行う。また、制御ユニット 130 は、外側光ビーム LS の走査方向 SD における前側の第一光ビーム Be1 で溶融池 MP の形成処理に対する前処理として予熱処理（第一予熱処理）を行い、外側光ビーム LS における走査方向 SD における後側の第二光ビーム Be2 で溶融池 MP の形成処理に対する後処理として保温処理（第一保温処理）を行う。

[0052] このように、一回の光ビームの走査方向 SD への走査によって溶融池 MP 形成のための予熱処理が同時にできるので、効率的に急加熱を低減でき、スパッタの発生を抑制できる。また、このとき同時に、外側光ビーム LS の外側光照射範囲 SS の走査方向 SD における後側の照射範囲 SSB で、溶融池 MP の形成処理の後処理としての保温処理を行う。これについても、一度の光ビームの走査によって、溶融池 MP の保温処理ができるため、効率的に、造形物 F F の急凝固を抑制でき、割れの発生を防止できる。

[0053] <2. 第二実施形態>

（2-1. 付加製造装置 200 の概要）

次に、第二実施形態に係る付加製造装置 200（図 1 参照）の概要について説明する。第二実施形態の付加製造装置 200 は、第一実施形態の付加製造装置 100 に対して、基台 B の周面 B2S に対して行なう予熱処理及び保温処理の方法が異なり、それ以外の部分については同様である。従って、異なる部分についてのみ詳細に説明し、同様の部分についての説明は省略する。また、同じ構成品には同じ符号を付して説明する。

[0054] 図 1 に示すように、第二実施形態の付加製造装置 200 は、付加材料供給

ユニット 110、光照射ユニット 120 及び制御ユニット 230 等を備える。付加製造装置 200 は、第一実施形態と同様、図 2 A に示す大径の円盤部材 B1 の両側面に小径の円筒部材 B2、B2 が同軸で一体化された形状の基台 B において、円筒部材 B2、B2 の開放端部側の網線で示す周面（軸受（図示省略）の支持部）B2S、B2S に造形物を付加するものである。

[0055] 制御ユニット 230 は、付加材料供給ユニット 110 の粉末供給、及び光照射ユニット 120 の光照射を制御するとともに、基台 B の円筒部材 B2 の周面 B2S に対する中央光ビーム LC 及び外側光ビーム LS の相対的な走査を制御する。詳細については、後述する。なお、本実施形態においても、第一実施形態と同様、第一段階における初期の予熱処理も行なうが、詳細な説明については省略する。

[0056] （2-2. 造形物の付加方法）

次に、造形物の付加方法について説明する。具体的には、第一実施形態と同様、図 2 B に示すように、基台 B の円筒部材 B2 の周面 B2S に一層構造の造形物 FF を付加する。本実施形態に係る造形物 FF の付加方法では、第二段階において、制御ユニット 230 が、中央光ビーム LC と外側光ビーム LS とを同一方向に所定の距離 L1 だけ、周面 B2S の周方向に複数回走査し造形物 FF を付加する。このとき、1 回の走査は、周面 B2S において、円筒部材 B2 の中心軸線 C 周りに向かう走査であり、複数回走査するとは、円筒部材 B2 の中心軸線 C 方向に移動しながら各走査を複数回行なうという意味である。

[0057] 以下において、詳細に説明する。説明を行なうにあたり、各走査 SC1-SC3 を定義する。周面 B2S を周方向に展開した図 6 A-図 6 C に示すように、光ビームの一回分の走査セット Q1 において、中心軸線 C 方向中央に位置する、走査を第二走査 SC2 と定義する。第二走査 SC2 は、中央光ビーム LC による走査である。また、中央光ビーム LC の走査の方向における左右両側のうち一方側（図 6 A において右側）の外側光ビーム LS（第三光ビーム Be3 に相当する）による走査を第一走査 SC1 と定義する。さらに

、中央光ビームLCの走査の方向における左右両側のうち他方側（図6Aにおいて左側）の外側光ビーム（第四光ビームBe4に相当する）による走査を第三走査SC3と定義する。

[0058] 中央光ビームLCの第二走査SC2は、基台Bの中央光照射範囲CSにおける溶融池MP（第二溶融池に相当する）の形成処理（第二形成処理に相当）、及び第一粉末材料P1の溶融処理（第二溶融処理に相当する）を行う。また、第三光ビームBe3（一方側の外側光ビームLS）による第一走査SC1は、溶融池MPを形成する形成処理に対する前処理としての予熱処理（第二予熱処理に相当する）を行なう（図6AのJ部）。さらに、第四光ビームBe4（他方側の外側光ビームLS）による第三走査SC3は、溶融池MPの形成処理に対する後処理としての保温処理（第二保温処理に相当する）を行う（図6AのK部）。

[0059] つまり、中央光ビームLCと外側光ビームLS（第三光ビームBe3、第四光ビームBe4）とを同一方向に所定の距離L1だけ同時に走査することにより、第二走査SC2（第二溶融池MPの第二形成処理）、第一走査SC1（第二予熱処理）、及び第三走査SC3（第二保温処理）が同時に処理される（図6A、図6B、図6Cの各Q1参照）。このとき、中央光ビームLCが行なう第二走査SC2を基準として視た場合、中央光ビームLCによって次回走査される図6Bの第二走査SC2が、図6Aに示す、中央光ビームLCが今回走査した第二走査SC2と一方側（図6A、図6Bにおいて右側）において隣り合うよう、中央光ビームLC及び外側光ビームLS（第三光ビームBe3、第四光ビームBe4）が、複数回同一方向に所定の距離L1だけ走査する。

[0060] また、上記において、周面B2S上に造形物FFを付加する際、制御ユニット230は、図3Bに示すように、中央光ビームLCのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークLCP3を、外側光ビームLSのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークLSP3より増加させるよう制御する。このとき、中央光ビームLCのレーザ出力は、前述したよう

に、周面 B 2 S 及び第一粉末材料 P 1 を溶融して溶融池 M P が形成できる温度となるように制御される。また、外側光ビーム L S のレーザ出力は、第一粉末材料 P 1 及び基台の周面 B 2 S が溶融せずに所定の温度となるように制御される。

[0061] そして、前述したように、所定の距離 L 1 だけ周面 B 2 S の周方向に行なう走査を周面 B 2 S の中心軸線 C 方向における一方側（図 6 A において右側）に向かって複数回繰り返すことにより、周面 B 2 S に造形物 F F の一部を付加する。このとき、今回の中央光ビーム L C 及び外側光ビーム L S の走査の方向 S D（走査方向）と、次回の中央光ビーム L C 及び外側光ビーム L S の走査方向 S D とは前述したとおり同一である。つまり、各走査において始点 R の位置は常に同じ側である。

[0062] ここで、図 6 A－図 6 C における J 部の温度変化について説明する。J 部の温度変化は、図 7 のグラフに示すように変化する。図 7 は、横軸に時間を取り、縦軸に温度をとったときの J 部における各走査 S C 1、S C 2、S C 3 の始点 R での温度変化を示したグラフである。図 6 A において、J 部は予熱処理がされる部位である。図 6 B において、J 部は溶融池 M P の形成処理がされる部位である。また、図 6 C において、J 部は溶融池 M P が保温処理される部位である。

[0063] 図 7 を見て分かるように、予熱処理では、第一走査 S C 1 の開始によって、周面 B 2 S における第三光ビーム B e 3（外側光ビーム L S）による第一走査 S C 1 の始点 R 部分が加熱される（図 7 中、V 1 参照）。このとき、V 1 における温度は、基台 B の周面 B 2 S の溶融点（凝固点）を超えないよう制御される。その後、第三光ビーム B e 3 の第一走査 S C 1 が始点 R から離間する方向に所定の距離 L 1 だけ走査されることにより、始点 R における温度が低下する（図 7、矢印 A r 1 参照）。

[0064] その後、J 部では中央光ビーム L C による第二走査 S C 2 が、走査の始点 R から開始される。これにより、J 部の温度は再び上昇（図 7、矢印 A r 2 参照）し、凝固点（溶融点）を越え、周面 B 2 S が溶融し溶融池 M P（第二

溶融池)を形成する。このとき、J部は第一走査SC1によって予熱された状態をベースとして、中央光ビームLCによる加熱が開始されるため、周面B2Sは急加熱されることなく、安定して溶融でき、スパッタの発生が良好に抑制される。

[0065] その後、中央光ビームLCによる第二走査SC2が始点から離間する方向に所定の距離L1だけ走査されることにより、始点Rから遠ざかるため、始点Rにおける温度が低下する(図7、矢印Ar3参照)。しかし、このとき、溶融池MPを形成する溶融金属の温度が、凝固点以下になる前に、回目の走査であり保温処理を行う第四光ビームBe4(外側光ビームLS)による第三走査SC3がJ部における走査の始点Rから開始される。このため、急冷され始めていた溶融金属の温度低下勾配は、保温処理が開始された図7中における点Wの位置から緩やかになり、その後、凝固点を下回ることにより溶融金属が固化し造形物FFが形成される。このように、急冷ではなく、緩やかな冷却によって造形物FFが形成されるため、割れの発生が良好に抑制される。

[0066] つまり、本実施形態においては、溶融池MPを形成する溶融金属の温度が凝固点以下になる前に、第四光ビームBe4(外側光ビームLS)による第三走査SC3がJ部における走査の始点Rから開始されるよう、各走査SC1、SC2、SC3を行なう所定の距離L1が設定される。そして、本実施形態においては、所定の距離L1は、円筒部材B2の周面B2S上において中心軸線C周りにおける周長以下の長さである。このとき、所定の距離L1は、周面B2Sの周長と等しい、又は周長を等分する長さであることが好ましい。これにより、周面B2S上において、周面B2S上の周方向に一回、又は、中心軸線C方向への一部の造形物FFの付加が終了したのちに整数回、走査を行なうことにより、周面B2Sの周方向における全周に、スパッタがなく割れない造形物FFを付加できる。

[0067] (2-3.第二実施形態による効果)

上記第二実施形態によれば、制御ユニット230は、中央光ビームLCと

外側光ビーム L_S とを同一方向に所定の距離 L_1 だけ走査する。つまり、第二走査 SC_2 における中央光ビーム L_C で基台 B の中央光照射範囲 CS における溶融池 MP （第二溶融池）の形成処理（第二形成処理）、及び第一粉末材料 P_1 の溶融処理（第二溶融処理）を行う。また、第一走査 SC_1 における第三光ビーム Be_3 によって溶融池 MP の形成処理に対する前処理としての予熱処理（第二予熱処理）を行う。さらに、第三走査 SC_3 における第四光ビーム Be_4 によって、溶融池 MP の形成処理に対する後処理として保温処理（第二保温処理）を行う。そしてその後、中央光ビーム L_C が次回行なう第二走査 SC_2 が、今回行った第二走査 SC_2 と一方側において隣り合うよう、中央光ビーム L_C と外側光ビーム L_S とを同一方向に所定の距離 L_1 だけ走査する。

[0068] これにより、たとえば図 6 A の J 部における温度変化は、図 7 に示すようになる。つまり、外側光ビーム L_S の外側光照射範囲 SS における走査方向 SD の一方側における照射範囲 SSF で、溶融池 MP の形成処理の前処理として予熱処理を行うことで、基台 B の周面 B_2S は、高温状態になっている。このため、中央光ビーム L_C のパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピーク $LC P_3$ を大きく高める必要はない。

[0069] 従って、中央光ビーム L_C による急加熱を低減でき、スパッタの発生を抑制できる。また、外側光ビーム L_S の外側光照射範囲 SS における走査方向 SD の他方側の照射範囲 SSB において、溶融池 MP の形成処理に対する後処理としての保温処理を行うことで、造形物 FF の急凝固を抑制でき、割れの発生を防止できる。

[0070] また、上記第二実施形態によれば、今回走査した中央光ビーム L_C 及び外側光ビーム L_S の走査方向 SD と、次回走査する中央光ビーム L_C 及び外側光ビーム L_S の走査方向 SD は同一である。これにより、溶融池 MP における溶融金属の温度のうち最も低くなった温度の位置を始点 R として保温を開始できるので、造形物 FF の急凝固を抑制でき、割れの発生を防止できる。

[0071] また、上記第二実施形態によれば、熔融池MPの温度は、確実に所定の温度以上の状態で保温が開始できるので、造形物FFの急凝固を抑制でき、割れの発生を防止できる。また、上記第二実施形態によれば、所定の温度は、熔融池MPに熔融される熔融金属の凝固温度である。これにより、所定の距離L1も、熔融池MPに熔融される熔融金属の凝固温度に応じて容易に設定できる。

[0072] なお、上記第二実施形態の付加製造装置200では、予熱処理を第三光ビームBe3（一方側の外側光ビームLS）による第一走査SC1によって行い、保温処理を第四光ビームBe4（他方側の外側光ビームLS）による第三走査SC3によって行なう態様について説明した。しかしながら、実際には、外側光ビームLSは、リング状に形成されている。このため、第一実施形態における第一光ビームBe1（前側）及び第二光ビームBe2（後側）も予熱処理及び保温処理に寄与する。この場合、中央光ビームLC及び外側光ビームLSの走査はさらに低いエネルギーで制御すればよい。そのため効率が良い。

[0073] ただし、この態様には限らず、第一光ビームBe1（前側）及び第二光ビームBe2（後側）の影響を排除したい場合には、外側光ビームLSは、リング状ではなく、第三光ビームBe3及び第四光ビームBe4をそれぞれ単独で照射できるよう光照射ユニットを構成すればよい。これによっても、十分な効果が得られる。

[0074] <3. 第三実施形態>

（3-1. 付加製造装置300の概要）

次に、本開示の第三実施形態に係る付加製造装置300の概要について説明する。なお、詳細は後述するが、この付加製造の際には、第一粉末材料P1の他に炭素鋼（S45C）の粉末材料（以下、第二粉末材料という）及び第一粉末材料のバインダの役割を担うニッケル（Ni）、コバルト（Co）等の粉末材料（以下、結合粉末材料という）も用いる。

[0075] 付加製造装置300は、第一、第二実施形態の付加製造装置100、200

０に対して、付加製造装置３００が付加する造形物が、中間造形物ＦＣ及び造形物ＦＦの２層構造となっている（図９参照）。付加製造装置３００は、ＬＭＤ法により１種又は複数種の粉末材料を用いて基台Ｂに造形物を付加する。このとき、粉末材料と基台Ｂとは、異なる種類の材料でもよく、同一種類の材料でもよい。なお、以降においては、主に、第一実施形態と異なる部分について詳細に説明し、同様部分については、説明を省略する。また、同じ構成の場合、同じ符号を付して図面に記載する場合がある。

[0076] 本例では、第一実施形態と同様、炭化タングステン（ＷＣ）の粉末材料（以下、第一粉末材料という）で成る造形物を、炭素鋼（Ｓ４５Ｃ）で成る基台Ｂに付加する場合について説明する。図８に示すように、付加製造装置３００は、付加材料供給ユニット３１０、光照射ユニット１２０及び制御ユニット３３０等を備える。

[0077] 付加製造の際、付加製造装置３００は、基台Ｂを、モータＭ１により中心軸線Ｃ回りに回転するとともに、モータＭ２により中心軸線Ｃ方向に移動する。これにより、円筒部材Ｂ２、Ｂ２の開放端部側の周面Ｂ２Ｓ、Ｂ２Ｓ全体に造形物を付加できる。詳細は後述するが、造形物は、中間造形物ＦＣ及び造形物ＦＦの２層構造となっている（図９参照）。

[0078] 付加材料供給ユニット３１０は、第１ホッパ１１１、第２ホッパ１１２、成分比調整ユニット１１３、ガスボンベ１１４及び噴射ノズル１１５を備える。第１ホッパ１１１及び第２ホッパ１１２は、結合粉末材料が混合された第一粉末材料Ｐ１及び結合粉末材料が混合された第二粉末材料Ｐ２をそれぞれ貯蔵する。本例では、造形物ＦＦは、大量の第一粉末材料Ｐ１と少量の結合粉末材料で成るため、第一粉末材料Ｐ１に混合する結合粉末材料の量は、造形物ＦＦにおける結合粉末材料の量に対応した量とする。

[0079] また、中間造形物ＦＣは、厚さが厚くなるにつれて結合粉末材料及び第二粉末材料Ｐ２の量が減少し、第一粉末材料Ｐ１の量が増加する材料で成るため、第二粉末材料Ｐ２に混合する結合粉末材料の量は、中間造形物ＦＣにおける第一粉末材料Ｐ１の量に対応した量とする。なお、１種のみもしくは３

種以上の粉末材料を貯蔵可能なホッパを備える構成としてもよい。

[0080] 成分比調整ユニット 113 は、第 1 ホッパ 111 からの結合粉末材料が混合された第一粉末材料 P1 と第 2 ホッパ 112 からの結合粉末材料が混合された第二粉末材料 P2 の成分比を調整する。成分比調整ユニット 113 は、粉末導入バルブ 113a、113b、粉末供給バルブ 113c 及びガス導入バルブ 113d が接続される粉末攪拌機 113e を備える。

[0081] 粉末導入バルブ 113a、113b は、第 1 ホッパ 111 及び第 2 ホッパ 112 と配管 111a、112a でそれぞれ接続され、粉末供給バルブ 113c は、噴射ノズル 115 と配管 115a で接続され、また、ガス導入バルブ 113d は、ガスポンベ 114 に配管 114a で接続される。

[0082] 噴射ノズル 115 は、例えば、ガスポンベ 114 から供給される高圧の窒素により、成分比調整ユニット 113 から送られてくる成分比が調整済の粉末材料（以下、第三粉末材料という）P3 を、基台 B の円筒部材 B2 の周面 B2S に対し噴射して供給する。光照射ユニット 120 は、第一実施形態の光照射ユニット 120 と同様の構成であるため、説明を省略する。

[0083] 制御ユニット 330 は、付加材料供給ユニット 310 の粉末供給及び光照射ユニット 120 の光照射を制御するとともに、基台 B の円筒部材 B2 の周面 B2S に対する中央光ビーム LC 及び外側光ビーム LS の相対的な走査を制御する。すなわち、制御ユニット 330 は、粉末導入バルブ 113a、113b の回転を制御して、結合粉末材料が混合された第一粉末材料 P1 と結合粉末材料が混合された第二粉末材料 P2 の成分比を調整し、粉末供給バルブ 113c 及びガス導入バルブ 113d の開閉を制御して、噴射ノズル 115 からの第三粉末材料 P3 の噴射供給を制御する。

[0084] また、制御ユニット 330 は、中央光ビーム光源 122 及び外側光ビーム光源 124 の動作をそれぞれ制御して、中央光ビーム LC 及び外側光ビーム LS の各出力条件、すなわち中央光ビーム LC 及び外側光ビーム LS の各レーザ出力や、中央光照射範囲 CS 及び外側光照射範囲 SS の各単位面積当たりのレーザ出力（パワー密度）の分布形状（レーザビームプロファイル）を

それぞれ独立して制御する。

[0085] また、制御ユニット330は、モータM1の回転を制御して基台Bを中心軸線C回りに回転し、モータM2の回転を制御して基台Bを中心軸線C方向に移動することで、基台Bの円筒部材B2の周面B2Sに対する中央光ビームLC及び外側光ビームLSの相対的な走査を制御する。

[0086] (3-2. 造形物の付加方法)

次に、造形物の付加方法について説明する。図9に示すように、基台Bの円筒部材B2の周面B2Sには、2層構造の造形物、すなわち、基台Bの円筒部材B2の表面に中間造形物FCを付加し、中間造形物FCの表面に造形物FFを付加する。中間造形物FCは、結合粉末材料が混合された第一粉末材料P1と結合粉末材料が混合された第二粉末材料P2の成分比が段階的に異なる(徐変する)ように付加される。

[0087] 詳しくは、中間造形物FCは、基台Bの周面B2Sに対し厚さ方向(径方向)に最も近い部分から最も遠い部分において、結合粉末材料が混合された第二粉末材料P2が100%から0%に直線的(段階的)に減少し、結合粉末材料が混合された第一粉末材料P1が0%から100%に直線的(段階的)に増加する、いわゆる傾斜層となっている。そして、造形物FFは、結合粉末材料が混合された第一粉末材料P1が100%、結合粉末材料が混合された第二粉末材料P2が0%の層となっている。

[0088] 中間造形物FCにおける基台Bの周面B2Sに近い部分は、第二粉末材料P2(炭素鋼(S45C))を多く含むことになる。従って、基台Bの周面B2S(炭素鋼(S45C))と中間造形物FCとの間の熱膨張率差は、基台Bの周面B2Sと中間造形物FCとの境界に近づくほど徐々に減少することになる。一方、中間造形物FCにおける造形物FFに近い部分は、第一粉末材料(炭化タングステン(WC))を多く含むことになる。従って、中間造形物FCと造形物FF(炭化タングステン(WC))との間の熱膨張率差は、中間造形物FCと造形物FFとの境界に近づくほど徐々に減少することになる。

- [0089] よって、基台Bに中間造形物F Cを付加し、中間造形物F Cに造形物F Fを付加することで、熱膨張率差による割れの発生を大幅に抑制できる。中間造形物F C及び造形物F Fの付加方法は、第一段階として、中央光ビームL C及び外側光ビームL Sにより、第二段階で行う中間造形物F Cの付加処理の前処理として初期の予熱処理を行う。基台Bの周面B 2 Sの温度が低い状態では、レーザ照射による熱エネルギーが基台Bに逃げ易く、第二段階で行う溶融の不良要因となり易いため、第一段階で基台Bの周面B 2 Sを予熱する。このときの中央光ビームL C及び外側光ビームL Sのレーザ出力は、基台Bの周面B 2 Sが溶融せずに所定の温度となるように制御される。
- [0090] すなわち、制御ユニット330は、第一段階では第三粉末材料P 3の供給は行わず、図略の温度測定器からの中央光ビームL Cの中央光照射範囲C S及び外側光ビームL Sの外側光照射範囲S Sの測定温度を監視しつつ、図10Aに示すように、中央光ビームL Cのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークL C P 4を、外側光ビームL Sのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークL S P 4より減少させる制御を行う。
- [0091] 中央光ビームL Cのパワー密度のピークL C P 4を、外側光ビームL Sのパワー密度のピークL S P 4より減少させる理由は、第一実施形態で述べた理由と同様である。そして、中央光ビームL Cのパワー密度が低いことから、中央光ビームL Cの過入熱によるスパッタの発生を抑制できる。また、ピークL C P 4を抑制しつつもレーザ出力全体として大きなエネルギーを投入できるので、スパッタの発生を抑制しつつ効率良く予熱ができる。
- [0092] 次に、第二段階として、第一粉末材料P 1は溶融させず、第二粉末材料P 2を溶融させて中間造形物F Cを付加する。すなわち、制御ユニット330は、上述した成分比が調整された第三粉末材料P 3を供給しつつ、図略の温度測定器からの中央光ビームL Cの中央光照射範囲C S及び外側光ビームL Sの外側光照射範囲S Sの測定温度を監視する。そして、この監視により中央光ビームL Cのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークL C P 5を、図10Bに示すように、外側光ビームL Sのパワー密度のレーザ

ビームプロファイルにおけるピークLSP5より減少させる制御を行う。

[0093] 第二段階の中央光ビームLC及び外側光ビームLSのピークLCP5, LSP5は、第二粉末材料P2を溶融させる必要があるため、第一段階の中央光ビームLC及び外側光ビームLSのピークLCP4, LSP4よりも高い値となる。さらに、中間造形物FCは、厚さが増加するにつれて成分比が異なるため、制御ユニット330は、図略の温度測定器による中央光ビームLCの中央光照射範囲CS及び外側光ビームLSの外側光照射範囲SSの測定温度を監視しつつ、中央光ビームLC及び外側光ビームLSのレーザ出力を変動させるフィードバック制御を行う。なお、成分比の違いによる温度とレーザ出力の関係は、予めデータベースとして構築しておく。

[0094] 第二段階においても第一段階と同様の理由により、中央光ビームLCのパワー密度のピークLCP5を、外側光ビームLSのパワー密度のピークLSP5より減少させている。そして、中央光ビームLCのパワー密度が低いことから、中央光ビームLCの過入熱によるスパッタの発生を抑制できる。また、ピークLCP5を抑制しつつもレーザ出力全体として大きなエネルギーを投入できるので、スパッタの発生を抑制しつつ高速で中間造形物FCを付加できる。

[0095] 次に、第三段階として、中央光ビームLCの照射により、中間造形物FCの中央光照射範囲CSにおいて、中間造形物FC及び第三粉末材料P3（実際は結合粉末材料が混合された第一粉末材料のみ）を溶融して溶融池MPを形成する溶融処理を行う（図11A参照）。同時に、中央光照射範囲CSに対する、外側光ビームLSの外側光照射範囲SSにおける走査方向SD（図11B参照）の前側の照射範囲SSFで、溶融池MPの形成処理に対する前処理としての予熱処理を行う。

[0096] そして、図11Bに示すように、中央光ビームLCを走査することで溶融池MPを拡大させ、中間造形物FCに第三粉末材料P3（実際は結合粉末材料が混合された第一粉末材料のみ）で成る造形物FFを付加する。

[0097] 同時に、外側光ビームLSの外側光照射範囲SSにおける走査方向SDの

前側の照射範囲SSFで、溶融池MPの形成処理の前処理として予熱処理を行うとともに、外側光ビームLSの外側光照射範囲SSにおける走査方向SDの後側の照射範囲SSBで、造形物FFの付加処理の後処理として保温処理を行う。

[0098] すなわち、図10Cに示すように、制御ユニット330は、中央光ビームLCのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークLCP6を、外側光ビームLSのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークLSP6より増加させる制御を行う。中央光ビームLCのレーザ出力は、第三粉末材料P3（結合粉末材料が混合された第一粉末材料P1）を溶融して溶融池MPが形成できる温度となるように制御される。外側光ビームLSのレーザ出力は、第三粉末材料P3（結合粉末材料が混合された第一粉末材料）及び造形物FFが溶融せずに所定の温度となるように制御される。

[0099] 以上のように、外側光ビームLSの外側光照射範囲SSにおける走査方向SDの前側の照射範囲SSFで、溶融池MPの形成処理の前処理として予熱処理を行うことで、中間造形物FCは高温状態になっているので、中央光ビームLCのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークLCP6を大きく高める必要はない。

[0100] よって、中央光ビームLCによる急加熱を低減でき、スパッタの発生を抑制できる。また、外側光ビームLSの外側光照射範囲SSにおける走査方向SDの後側の照射範囲SSBで、溶融池MPの形成処理の後処理として保温処理を行うことで、造形物FFの急凝固を抑制でき、割れの発生を防止できる。

[0101] （3－3．付加製造装置の動作）

次に、付加製造装置300により基台Bの一方の円筒部材B2の周面B2Sに中間造形物FC及び造形物FFを付加する動作について図12のフローチャートを参照して説明する。制御ユニット330には、上述の第一、第二、第三段階における中央光ビームLC及び外側光ビームLSの各レーザ出力や各パワー密度のレーザビームプロファイルのピーク、第一－第三粉末材料

P 1－P 3の供給量、基台Bの回転速度及び移動速度のデータ等は予め記憶されているものとする。

[0102] まず、制御ユニット330は、上述の第一段階（基台Bの周面B2Sの予熱処理）を実行するため、基台Bの回転及び移動を開始すると同時に、光照射ユニット120をオンにする（図12のステップS101）。具体的には、制御ユニット330は、モータM1、M2を駆動して基台Bを中心軸線C回りに回転するとともに中心軸線C方向（周面B2Sの他端方向）に移動する。

[0103] 同時に、制御ユニット330は、中央光ビーム光源122をオンにして中央光ビーム照射部121から中央光ビームLCを基台Bの周面B2Sに照射するとともに、外側光ビーム光源124をオンにして外側光ビーム照射部123から外側光ビームLSを基台Bの周面B2Sに照射し、基台Bの周面B2Sの初期の予熱処理を実行する。

[0104] そして、制御ユニット330は、基台Bの周面B2Sに対し初期の予熱処理が完了したか否かを判断し（ステップS102）、初期の予熱処理が完了したら、光照射ユニット120をオフにして基台Bを第一段階の開始位置に戻し、基台Bの回転及び移動を停止する（ステップS103）。次に、制御ユニット330は、上述の第二段階（中間造形物FCの付加処理）を実行するため、付加材料供給ユニット310をオンにし、基台Bの回転及び移動を開始すると同時に、光照射ユニット120をオンにする（ステップS104）。

[0105] 具体的には、制御ユニット330は、成分比調整ユニット113の粉末導入バルブ113a、113bを適宜開閉して、第一粉末材料P1及び第二粉末材料P2の成分比を調整して第三粉末材料P3とする。そして、ガス導入バルブ113d及び粉末供給バルブ113cを開いて、ガスボンベ114からの高圧の窒素により第三粉末材料P3を噴射ノズル115から基台Bの周面B2Sに噴射して供給する。

[0106] そして、制御ユニット330は、モータM1、M2を駆動して基台Bを中

心軸線C回りに回転するとともに中心軸線C方向（周面B 2 Sの他端方向）に移動する。同時に、中央光ビーム光源1 2 2をオンにして中央光ビーム照射部1 2 1から中央光ビームL Cを基台Bの周面B 2 Sに照射するとともに、外側光ビーム光源1 2 4をオンにして外側光ビーム照射部1 2 3から外側光ビームL Sを基台Bの周面B 2 Sに照射し、中間造形物F Cの付加処理を実行する。

[0107] そして、制御ユニット3 3 0は、基台Bの周面B 2 Sに対し中間造形物F Cの付加処理が完了したか否かを判断し（ステップS 1 0 5）、中間造形物F Cの付加処理が完了したら、光照射ユニット1 2 0をオフにして基台Bを第二段階の開始位置に戻し、基台Bの回転及び移動を停止する（ステップS 1 0 6）。

[0108] 次に、制御ユニット3 3 0は、上述の第三段階（造形物F Fの付加処理）を実行するため、付加材料供給ユニット3 1 0をオンにし、基台Bの回転及び移動を開始すると同時に、光照射ユニット1 2 0をオンにする（ステップS 1 0 7）。具体的には、制御ユニット3 3 0は、成分比調整ユニット1 1 3の粉末導入バルブ1 1 3 bを閉じたままで、粉末導入バルブ1 1 3 aを適宜開閉して、第一粉末材料P 1のみを第三粉末材料P 3とする。そして、ガス導入バルブ1 1 3 d及び粉末供給バルブ1 1 3 cを開いて、ガスボンベ1 1 4からの高圧の窒素により第三粉末材料P 3を噴射ノズル1 1 5から基台Bの周面B 2 Sに噴射して供給する。

[0109] そして、制御ユニット3 3 0は、モータM 1, M 2を駆動して基台Bを中心軸線C回りに回転するとともに中心軸線C方向（周面B 2 Sの他端方向）に移動する。同時に、中央光ビーム光源1 2 2をオンにして中央光ビーム照射部1 2 1から中央光ビームL Cを基台Bの周面B 2 Sに照射するとともに、外側光ビーム光源1 2 4をオンにして外側光ビーム照射部1 2 3から外側光ビームL Sを基台Bの周面B 2 Sに照射し、造形物F Fの付加処理を実行する。

[0110] そして、制御ユニット3 3 0は、基台Bの周面B 2 Sに付加した中間造形

物 F C に対する造形物 F F の付加処理が完了したか否かを判断し（ステップ S 1 0 8）、造形物 F F の付加処理が完了したら、付加材料供給ユニット 3 1 0 及び光照射ユニット 1 2 0 をオフにし、基台 B の回転及び移動を停止して（ステップ S 1 0 9）、全ての処理を終了する。

[0111] （3－4．第三実施形態による効果）

上記第三実施形態によれば、付加材料供給ユニット 3 1 0 は、複数種の粉末材料の成分比を調整する成分比調整ユニット 1 1 3 を有する。これにより、径方向において成分が調整された傾斜層としての中間造形物 F C が容易に形成できる。

[0112] また、上記第三実施形態の付加製造装置 3 0 0 によれば、複数種の粉末材料の成分比を調整する成分比調整ユニット 1 1 3 を有し、基台 B に対し成分比が調整済の粉末材料を噴射して供給する付加材料供給ユニット 3 1 0 と、基台 B における成分比が調整済の粉末材料の供給部に対し光ビームを照射する光照射ユニット 1 2 0 と、付加材料供給ユニット 3 1 0 の粉末供給及び光照射ユニット 1 2 0 の光照射を制御するとともに、基台 B に対する光ビームの相対的な走査を制御する制御ユニット 3 3 0 とを備える。

[0113] 光照射ユニット 1 2 0 は、成分比が調整済の粉末材料の供給部の中央に光ビームとして中央光ビーム L C を照射する中央光ビーム照射部 1 2 1 及び中央光ビーム L C の外側に光ビームとして外側光ビーム L S を照射する外側光ビーム照射部 1 2 3 を有する。そして、制御ユニット 3 3 0 は、基台 B の表面に成分比が厚さ方向に徐変する中間造形物 F C を付加し、中間造形物 F C を形成する際、成分比の変化に応じて中央光ビーム照射部 1 2 1 の出力条件と外側光ビーム照射部 1 2 3 の出力条件を独立して制御する。

[0114] このような構成により、基台 B の周面 B 2 S（炭素鋼（S 4 5 C））と中間造形物 F C との間の熱膨張率差が、基台 B の周面 B 2 S と中間造形物 F C との境界に近づくほど徐々に減少するよう形成できる。また、中間造形物 F C における造形物 F F に近い部分は、第一粉末材料（炭化タングステン（W C））を多く含ませることができる。このため、中間造形物 F C と造形物 F

F（炭化タングステン（WC））との間の熱膨張率差は、中間造形物F Cと造形物F Fとの境界に近付くほど徐々に減少させることができる。これにより、基台Bに中間造形物F Cを付加し、中間造形物F Cに造形物F Fを付加することで、熱膨張率差による割れの発生を大幅に抑制できる。

[0115] また、上記第三実施形態によれば、制御ユニット330は、中間造形物F Cを付加する際、外側光ビームL Sのパワー密度のビームプロファイルにおけるピークL S P 5を中央光ビームL Cのパワー密度のビームプロファイルにおけるピークよりL C P 5よりも増加させる。このように、中間造形物F Cの付加時には、中央光ビームL Cのパワー密度が低いことから、中央光ビームL Cの過入熱によるスパッタの発生を抑制できる。また、ピークL C P 5を抑制しつつもレーザ出力全体として大きなエネルギーを投入できるので、スパッタの発生を抑制しつつ高速で中間造形物F Cを付加できる。

[0116] また、上記第三実施形態によれば、制御ユニット330は、造形物F F（上部造形物）を付加する際、中央光ビームL Cのパワー密度のビームプロファイルにおけるピークL C P 6を外側光ビームL Sのパワー密度のビームプロファイルにおけるピークL S P 6よりも増加させ、中央光ビームL Cで中央光照射範囲C Sにおける基台Bの溶融池M Pの形成処理及び成分比が調整済の粉末材料の溶融処理を行い、且つ外側光ビームL Sにおける走査の方向の前側で溶融池M Pの形成処理に対する前処理として予熱処理を行うとともに、外側光ビームL Sにおける走査の方向の後側で溶融池M Pの形成処理に対する後処理として保温処理を行う。これにより、外側光ビームL S及び中央光ビームL Cの走査の方向において、予熱処理、溶融池M Pの形成及び溶融池M Pに対する保温処理が容易且つ効率的に行なえる。

<4. 第四実施形態>

[0117] （4-1. 付加製造装置の概要）

本開示の第四実施形態に係る付加製造装置1000の概要について説明する。付加製造装置は、LMD法により1種又は複数種の粉末材料を用いて基台に造形物を付加する。粉末材料と基台は、異なる種類の材料でもよく、同

一種類の材料でもよい。

[0118] 第四実施形態では、銅（Cu）の粉末材料（以下、第1粉末材料という）で成る造形物を、鉄（Fe）で成る基台Bに付加する場合について説明する。なお、詳細は後述するが、この付加製造の際には、第1粉末材料のバインダの役割を担う鉄（Fe）やニッケル（Ni）の粉末材料（以下、第2粉末材料という）も用いる。

[0119] 図8に示すように、付加製造装置1000は、粉末供給ユニット1110（付加材料供給ユニット）、光照射ユニット120及び制御ユニット1130等を備える。ここで、付加製造装置1000は、第一、第二実施形態の付加製造装置100、200に対して、付加製造装置1000が付加する造形物が、中間造形物FC及び造形物FFの2層構造となっている（図9参照）。

[0120] この付加製造の際、付加製造装置1000は、基台Bを、モータM1（図8参照）により中心軸線C回りに回転するとともに、モータM2（図8参照）により中心軸線C方向に移動する。これにより、円筒部材B2、B2の開放端部側の周面B2S、B2S全体に造形物を付加できる。

[0121] 粉末供給ユニット1110は、第1ホッパ111、第2ホッパ112、成分比調整ユニット113、ガスボンベ114及び噴射ノズル115を備える。第1ホッパ111及び第2ホッパ112は、第1粉末材料P101及び第2粉末材料P102をそれぞれ貯蔵する。なお、1種のみもしくは3種以上の粉末材料を貯蔵可能なホッパを備える構成としてもよい。

[0122] 成分比調整ユニット113は、第1ホッパ111からの第1粉末材料P101と第2ホッパ112からの第2粉末材料P102の成分比を調整する。成分比調整ユニット113は、粉末導入バルブ113a、113b、粉末供給バルブ113c及びガス導入バルブ113dが接続される粉末攪拌機113eを備える。

[0123] 粉末導入バルブ113a、113bは、第1ホッパ111及び第2ホッパ112と配管111a、112aでそれぞれ接続され、粉末供給バルブ11

3 c は、噴射ノズル 1 1 5 と配管 1 1 5 a で接続され、また、ガス導入バルブ 1 1 3 d は、ガスポンベ 1 1 4 に配管 1 1 4 a で接続される。

[0124] 噴射ノズル 1 1 5 は、ガスポンベ 1 1 4 からの高圧の例えば窒素により、成分比調整ユニット 1 1 3 から送られてくる成分比が調整済の粉末材料（以下、第 3 粉末材料という）P 1 0 3 を、基台 B の円筒部材 B 2 の周面 B 2 S に対し噴射して供給する。噴射ノズル 1 1 5 は、第四実施形態では、2 本を 1 8 0 度隔てて配置した場合を示すが、1 本もしくは等角度間隔で配置される 3 本以上の噴射ノズルを備える構成としてもよい。また、第 3 粉末材料 P 1 0 3 の供給用のガスは、窒素に限定されるものではなく、アルゴン等の不活性ガスでもよい。

[0125] 光照射ユニット 1 2 0 は、中央光ビーム照射部 1 2 1、中央光ビーム光源 1 2 2、外側光ビーム照射部 1 2 3 及び外側光ビーム光源 1 2 4 を備える。光照射ユニット 1 2 0 は、基台 B の円筒部材 B 2 の周面 B 2 S（第 3 粉末材料 P 1 0 3 の供給部）に対し、中央光ビーム光源 1 2 2 から中央光ビーム照射部 1 2 1 を通して中央光ビーム L C を照射するとともに、外側光ビーム光源 1 2 4 から外側光ビーム照射部 1 2 3 を通して外側光ビーム L S を照射する。

[0126] 第四実施形態では、中央光ビーム照射部 1 2 1 は、円形状の照射形状（中央光照射範囲 C S）となる中央光ビーム L C を照射し、外側光ビーム照射部 1 2 3 は、中央光ビーム L C の外周を囲うリング状の照射形状（外側光照射範囲 S S）となる外側光ビーム L S を照射する。中央光ビーム L C は、基台 B の円筒部材 B 2 の周面 B 2 S において造形物を付加する役割を担う。外側光ビーム L S の役割は後述する。なお、中央光ビーム L C 及び外側光ビーム L S としては、レーザ光を用いているが、レーザ光に限定されず、電磁波であれば例えば電子ビームでもよい。

[0127] 制御ユニット 1 1 3 0 は、粉末供給ユニット 1 1 1 0 の粉末供給及び光照射ユニット 1 2 0 の光照射を制御するとともに、基台 B の円筒部材 B 2 の周面 B 2 S に対する中央光ビーム L C 及び外側光ビーム L S の相対的な走査を

制御する。すなわち、制御ユニット 1130 は、粉末導入バルブ 113a, 113b の回転を制御して、第 1 粉末材料 P101 と第 2 粉末材料 P102 の成分比を調整し、粉末供給バルブ 113c 及びガス導入バルブ 113d の開閉を制御して、噴射ノズル 115 からの第 3 粉末材料 P103 の噴射供給を制御する。

[0128] また、制御ユニット 1130 は、中央光ビーム光源 122 及び外側光ビーム光源 124 の動作をそれぞれ制御して、中央光ビーム LC 及び外側光ビーム LS の各出力条件、すなわち中央光ビーム LC 及び外側光ビーム LS の各レーザ出力や、中央光照射範囲 CS 及び外側光照射範囲 SS の各単位面積当たりのレーザ出力（パワー密度）の分布形状（レーザビームプロファイル）をそれぞれ独立して制御する。

[0129] また、制御ユニット 1130 は、モータ M1 の回転を制御して基台 B を中心軸線 C 回りに回転し、モータ M2 の回転を制御して基台 B を中心軸線 C 方向に移動することで、基台 B の円筒部材 B2 の周面 B2S に対する中央光ビーム LC 及び外側光ビーム LS の相対的な走査を制御する。

[0130] （4-2. 造形物の付加方法）

次に、造形物の付加方法について説明する。ここで、背景技術で述べたように、LMD 法では、基台と造形物のレーザ吸収性（光ビーム吸収率、熱伝導率）が異なる場合、造形物を基台に安定して付加することが困難であるという問題がある。

[0131] 本開示では、粉末材料の光ビーム吸収率に応じて、中央光ビーム LC 及び外側光ビーム LS の出力条件、すなわち各レーザ出力や各パワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークがそれぞれ独立して制御され調整される。さらに、造形物が径方向に 2 層構造を有するように形成される。これにより、基台と造形物のレーザ吸収率が異なっても造形物が基台に安定して付加される。

[0132] 具体的には、粉末材料のレーザ吸収率が比較的高い場合（第四実施形態では、鉄（Fe）である第 2 粉末材料 P102）、中央光ビーム LC のパワー

密度のビームプロファイルにおけるピークを外側光ビームL Sのパワー密度のビームプロファイルにおけるピークよりも低減する。これにより、中央光ビームL Cの中央光照射範囲C Sの急加熱を防止できるので、スパッタの発生を抑制できる。また、中央光ビームL Cと外側光ビームL Sのトータルのレーザ出力を維持できるので、造形物の高速付加が可能となる。

[0133] また、粉末材料のレーザ吸収率が比較的低い場合（第四実施形態では、銅（Cu）である第1粉末材料P 1 0 1）、中央光ビームL Cのパワー密度のビームプロファイルにおけるピークを外側光ビームL Sのパワー密度のビームプロファイルにおけるピークよりも増加する。これにより、中央光ビームL Cの中央光照射範囲C Sの温度を上昇させて熔融池を形成することができ、中央光照射範囲C Sにおけるレーザ吸収率を向上できる。

[0134] そして、その後に中央光ビームL Cのパワー密度のビームプロファイルにおけるピークを外側光ビームL Sのパワー密度のビームプロファイルにおけるピークよりも低減する。中央光ビームL Cの中央光照射範囲C Sの温度は既に上昇しており、これ以上の加熱はスパッタが発生するおそれがあるためである。これにより、中央光ビームL Cと外側光ビームL Sのトータルのレーザ出力を維持できるので、造形物の高速付加が可能となる。

[0135] さらに、図9に示すように、基台Bの円筒部材B 2の周面B 2 Sには、2層構造の造形物、すなわち、基台Bの円筒部材B 2の表面に中間造形物F Cを付加し、中間造形物F Cの表面に上部造形物F Fを付加する。中間造形物F Cは、第1粉末材料P 1 0 1と第2粉末材料P 1 0 2の成分比が段階的に異なる（徐変する）ように付加される。

[0136] 詳しくは、中間造形物F Cは、基台Bの周面B 2 Sに対し厚さ方向（径方向）に最も近い部分から最も遠い部分において、第2粉末材料P 1 0 2が100%から0%に段階的もしくは直線的に減少し、第1粉末材料P 1 0 1が0%から100%に段階的もしくは直線的に増加する、いわゆる傾斜層となっている。例えば、基台Bの周面B 2 Sの上に第1粉末材料P 1 0 1が10%、第2粉末材料P 1 0 2が90%の混合で層を形成し、当該層の上に第1

粉末材料 P 1 0 1 が 2 0 %、第 2 粉末材料 P 1 0 2 が 8 0 % に成分比を変えた混合で層を形成するという工程を繰り返し、最終的に第 1 粉末材料 P 1 0 1 が 9 0 %、第 2 粉末材料 P 1 0 2 が 1 0 % に成分比を変えた混合で層を形成するという段階的な傾斜層を付加する。そして、上部造形物 F F は、第 1 粉末材料 P 1 0 1 が 1 0 0 %、第 2 粉末材料 P 1 0 2 が 0 % の層となっている。

[0137] 基台 B の周面 B 2 S と第 2 粉末材料 P 1 0 2 は、同一材料（鉄系材料（F e））であるので、基台 B の周面 B 2 S と中間造形物 F C のレーザ吸収率差は、基台 B の周面 B 2 S と中間造形物 F C の境界に対し厚さ方向に近付くにつれて徐々に減少することになる。一方、上部造形物 F F と第 1 粉末材料 P 1 0 1 は、同一材料（銅（C u））であるので、中間造形物 F C と上部造形物 F F のレーザ吸収率差は、中間造形物 F C と上部造形物 F F の境界に対し厚さ方向に近付くにつれて徐々に減少することになる。

[0138] よって、基台 B に中間造形物 F C を付加し、中間造形物 F C に上部造形物 F F を付加することで、基台 B に対する造形物 F C、F F を安定して付加できる。中間造形物 F C 及び上部造形物 F F の付加方法は、第一段階として、中央光ビーム L C 及び外側光ビーム L S により、第二段階で行う中間造形物 F C の付加処理の前処理として予熱処理を行う。このときの中央光ビーム L C 及び外側光ビーム L S のレーザ出力は、基台 B の周面 B 2 S が溶融せずに所定の温度となるように制御される。

[0139] すなわち、制御ユニット 1 1 3 0 は、第 3 粉末材料 P 1 0 3 の供給は行わず、図略の温度測定器からの中央光ビーム L C の中央光照射範囲 C S 及び外側光ビーム L S の外側光照射範囲 S S の測定温度を監視する。そして、この監視により、図 1 4 A に示すように、中央光ビーム L C のパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピーク L C P 7 を、外側光ビーム L S のパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピーク L S P 7 より減少させる制御を行う。

[0140] 第一段階の中央光ビーム L C のパワー密度のピーク L C P 7 を、外側光ビ

ームL Sのパワー密度のピークL S P 7より減少させる理由は、中央光ビームL Cは外側光ビームL Sに囲まれるため、中央光ビームL Cによる熱はこもり易く、外側光ビームL Sによる熱は外方へ逃げ易いためである。そして、中央光ビームL Cのパワー密度が低いことから、中央光ビームL Cの過入熱によるスパッタの発生を抑制できる。

[0141] 次に、第二段階として、第1粉末材料P 1 0 1及び第2粉末材料P 1 0 2を溶融させて中間造形物F Cを付加する。すなわち、制御ユニット1 1 3 0は、上述した成分比が調整された第3粉末材料P 1 0 3を供給しつつ、図略の温度測定器からの中央光ビームL Cの中央光照射範囲C S及び外側光ビームL Sの外側光照射範囲S Sの測定温度を監視する。

[0142] そして、この監視により、第二段階の初期においては、図1 4 Bに示すように、中央光ビームL Cのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークL C P 8を、外側光ビームL Sのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークL S P 8より減少させる制御を行う。

[0143] この第二段階の初期においては、中央光ビームL C及び外側光ビームL SのピークL C P 8, L S P 8は、第一段階の中央光ビームL C及び外側光ビームL SのピークL C P 7, L S P 7よりも低い値となる。これは、基台Bの周面B 2 Sが予熱処理されており、さらにレーザ吸収率の比較的高い第2粉末材料P 1 0 2がレーザ吸収率の比較的低い第1粉末材料P 1 0 1よりも圧倒的に多いためである。

[0144] そして、第二段階の中期においては、図1 4 Cに示すように、中央光ビームL Cのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークL C P 9を、外側光ビームL Sのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークL S P 9より増加させる制御を行う。

[0145] 第二段階の中期においては、中央光ビームL C及び外側光ビームL SのピークL C P 9, L S P 9は、第二段階の初期の中央光ビームL C及び外側光ビームL SのピークL C P 8, L S P 8よりも高い値となる。これは、レーザ吸収率の比較的低い第1粉末材料P 1 0 1がレーザ吸収率の比較的高い第

2 粉末材料 P 1 0 2 よりも多くなるためである。なお、図 1 4 C においては、3つのピーク L S P 9, L C P 9, L S P 9 を持つ場合を説明したが、中央光ビーム L C の1つのピーク L C P 9 のみであってもよい。

[0146] そして、第二段階の終期においては、図 1 4 D に示すように、中央光ビーム L C のパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピーク L C P 1 0 を、外側光ビーム L S のパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピーク L S P 1 0 より減少させる制御を行う。これは、第二段階の中期において、中央光ビーム L C により高温になっているからである。

[0147] 第二段階においては、制御ユニット 1 1 3 0 は、図略の温度測定器による中央光ビーム L C の中央光照射範囲 C S 及び外側光ビーム L S の外側光照射範囲 S S の測定温度を監視しつつ、中央光ビーム L C 及び外側光ビーム L S のレーザ出力を変動させるフィードバック制御を行う。なお、成分比の違いによる温度とレーザ出力の関係は、予めデータベースとして構築しておく。

[0148] 次に、第三段階として、図 1 5 A に示すように、中央光ビーム L C で中間造形物 F C の中央光照射範囲 C S において第 1 粉末材料 P 1 0 1 を溶融して溶融池 M P を形成する溶融処理を行う。同時に、外側光ビーム L S の外側光照射範囲 S S における走査方向 S D (図 1 5 B 参照) の前側の照射範囲 S S F で、溶融池 M P の形成処理の前処理として予熱処理を行う。

[0149] そして、図 1 5 B に示すように、中央光ビーム L C を走査(第四実施形態では、基台 B が回転して走査するが、図 1 5 B では便宜上、中央光ビーム L C を走査)することで溶融池 M P を拡大させ、中間造形物 F C に第 1 粉末材料 P 1 0 1 で成る上部造形物 F F を付加する。

[0150] 同時に、外側光ビーム L S の外側光照射範囲 S S における走査方向 S D の前側の照射範囲 S S F で、溶融池 M P の形成処理の前処理として予熱処理を行うとともに、外側光ビーム L S の外側光照射範囲 S S における走査方向 S D の後側の照射範囲 S S B で、上部造形物 F F の付加処理の後処理として保温処理を行う。

[0151] この第三段階の初期においては、図 1 4 E に示すように、制御ユニット 1

130は、中央光ビームLCのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークLCP11を、外側光ビームLSのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークLSP11より増加させる制御を行う。

[0152] 中央光ビームLCのレーザ出力は、第1粉末材料P101を溶融して溶融池MPが形成できる温度となるように制御される。外側光ビームLSのレーザ出力は、第3粉末材料P103（第1粉末材料）及び上部造形物FFが溶融せずに所定の温度となるように制御される。なお、図14Eにおいては、3つのピークLSP11、LCP11、LSP11を持つ場合を説明したが、中央光ビームLCの1つのピークLCP11のみであってもよい。

[0153] そして、第三段階の終期においては、図14Fに示すように、中央光ビームLCのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークLCP12を、外側光ビームLSのパワー密度のレーザビームプロファイルにおけるピークLSP12より減少させる制御を行う。これは、上部造形物FFは中央光ビームLCにより高温状態になっており、上部造形物FFの温度とレーザ吸収率は比例関係にあることから、上部造形物FFのレーザ吸収率が高くなっているためである。

[0154] よって、中央光ビームLCによる急加熱を低減でき、スパッタの発生を抑制できる。また、外側光ビームLSの外側光照射範囲SSにおける走査方向SDの後側の照射範囲SSBで、溶融池MPの形成処理の後処理として保温処理を行うことで、上部造形物FFの急凝固を低減でき、割れの発生を抑制できる。

[0155] （4－3．付加製造装置の動作）

次に、付加製造装置1000により基台Bの一方の円筒部材B2の周面B2Sに中間造形物FC及び上部造形物FFを付加する動作について図13のフローチャートを参照して説明する。なお、第1ホッパ111及び第2ホッパ112には、第1粉末材料P101及び第2粉末材料P102がそれぞれ貯蔵されているものとする。

[0156] また、基台Bの一方の円筒部材B2の周面B2Sの一端は、付加製造装置

1000における所定の付加位置に位置決めされているものとする。また、制御ユニット1130には、上述の第一、第二、第三段階における中央光ビームLC及び外側光ビームLSの各レーザ出力や各パワー密度のレーザビームプロファイルのピーク、第1、第2、第3粉末材料P103の供給量、基台Bの回転速度及び移動速度のデータ等は予め記憶されているものとする。

[0157] 先ず、制御ユニット1130は、上述の第一段階（基台Bの周面B2Sの予熱処理）を実行するため、基台Bの回転及び移動を開始すると同時に、光照射ユニット120をオンにする（図13のステップS1001）。具体的には、制御ユニット1130は、モータM1、M2を駆動して基台Bを中心軸線C回りに回転するとともに中心軸線C方向（周面B2Sの他端方向）に移動する。

[0158] 同時に、制御ユニット1130は、中央光ビーム光源122をオンにして中央光ビーム照射部121から中央光ビームLCを基台Bの周面B2Sに照射するとともに、外側光ビーム光源124をオンにして外側光ビーム照射部123から外側光ビームLSを基台Bの周面B2Sに照射し、基台Bの周面B2Sの予熱処理を実行する。

[0159] そして、制御ユニット1130は、基台Bの周面B2Sに対し予熱処理が完了したか否かを判断し（図13のステップS1002）、予熱処理が完了したら、光照射ユニット120をオフにして基台Bを第一段階の開始位置に戻し、基台Bの回転及び移動を停止する（図13のステップS1003）。次に、制御ユニット1130は、上述の第二段階（中間造形物FCの付加処理）を実行するため、粉末供給ユニット1110をオンにし、基台Bの回転及び移動を開始すると同時に、光照射ユニット120をオンにする（図13のステップS1004）。

[0160] 具体的には、制御ユニット1130は、成分比調整ユニット113の粉末導入バルブ113a、113bを適宜開閉して、第1粉末材料P101及び第2粉末材料P102の成分比を調整して第3粉末材料P103とする。そして、ガス導入バルブ113d及び粉末供給バルブ113cを開いて、ガス

ポンベ 1 1 4 からの高圧の窒素により第 3 粉末材料 P 1 0 3 を噴射ノズル 1 1 5 から基台 B の周面 B 2 S に噴射して供給する。

[0161] そして、制御ユニット 1 1 3 0 は、モータ M 1, M 2 を駆動して基台 B を中心軸線 C 回りに回転するとともに中心軸線 C 方向（周面 B 2 S の他端方向）に移動する。同時に、中央光ビーム光源 1 2 2 をオンにして中央光ビーム照射部 1 2 1 から中央光ビーム L C を基台 B の周面 B 2 S に照射するとともに、外側光ビーム光源 1 2 4 をオンにして外側光ビーム照射部 1 2 3 から外側光ビーム L S を基台 B の周面 B 2 S に照射し、中間造形物 F C の付加処理を実行する。

[0162] そして、制御ユニット 1 1 3 0 は、基台 B の周面 B 2 S に対し中間造形物 F C の付加処理が完了したか否かを判断し（図 1 3 のステップ S 1 0 0 5）、中間造形物 F C の付加処理が完了したら、光照射ユニット 1 2 0 をオフにして基台 B を第二段階の開始位置に戻し、基台 B の回転及び移動を停止する（図 1 3 のステップ S 1 0 0 6）。

[0163] 次に、制御ユニット 1 1 3 0 は、上述の第三段階（上部造形物 F F の付加処理）を実行するため、粉末供給ユニット 1 1 1 0 をオンにし、基台 B の回転及び移動を開始すると同時に、光照射ユニット 1 2 0 をオンにする（図 1 3 のステップ S 1 0 0 7）。具体的には、制御ユニット 1 1 3 0 は、成分比調整ユニット 1 1 3 の粉末導入バルブ 1 1 3 b は閉じたままで、粉末導入バルブ 1 1 3 a を適宜開閉して、第 1 粉末材料 P 1 0 1 のみを第 3 粉末材料 P 1 0 3 とする。そして、ガス導入バルブ 1 1 3 d 及び粉末供給バルブ 1 1 3 c を開いて、ガスポンベ 1 1 4 からの高圧の窒素により第 3 粉末材料 P 1 0 3 を噴射ノズル 1 1 5 から基台 B の周面 B 2 S に噴射して供給する。

[0164] そして、制御ユニット 1 1 3 0 は、モータ M 1, M 2 を駆動して基台 B を中心軸線 C 回りに回転するとともに中心軸線 C 方向（周面 B 2 S の他端方向）に移動する。同時に、中央光ビーム光源 1 2 2 をオンにして中央光ビーム照射部 1 2 1 から中央光ビーム L C を基台 B の周面 B 2 S に照射するとともに、外側光ビーム光源 1 2 4 をオンにして外側光ビーム照射部 1 2 3 から外

側光ビームL Sを基台Bの周面B 2 Sに照射し、上部造形物F Fの付加処理を実行する。

[0165] そして、制御ユニット1 1 3 0は、基台Bの周面B 2 Sに付加した中間造形物F Cに対する上部造形物F Fの付加処理が完了したか否かを判断し（図1 3のステップS 1 0 0 8）、上部造形物F Fの付加処理が完了したら、粉末供給ユニット1 1 1 0及び光照射ユニット1 2 0をオフにし、基台Bの回転及び移動を停止して（図1 3のステップS 1 0 0 9）、全ての処理を終了する。

[0166] <5. その他>

上記第一、第二、第三、第四実施形態によれば、外側光ビーム照射部1 2 3は、外側光ビームL Sとしてリング状の光ビームを照射する。これにより、中央光ビームL Cに対して前後左右に容易に等間隔で配置でき低コスト化に寄与する。

[0167] また、上記第一実施形態では、光照射ユニット1 2 0は、中央光ビーム照射部1 2 1、中央光ビーム光源1 2 2、外側光ビーム照射部1 2 3及び外側光ビーム光源1 2 4を備える構成とした。しかし、図1 6に示すように、光照射ユニット1 2 0は、外側光ビーム照射部1 2 3及び外側光ビーム光源1 2 4の代わりに、前側光ビーム照射部（外側光ビーム照射部）1 2 5、前側光ビーム光源1 2 6、後側光ビーム照射部（外側光ビーム照射部）1 2 7、後側光ビーム光源1 2 8を備える構成としてもよい。

[0168] 前側光ビーム照射部1 2 5は、中央光ビームL Cの走査方向S Dの前側に円形状の照射形状（前側光照射範囲F S S）となる前側光ビームF L S（外側光ビーム、第一光ビームB e 1）を照射する。後側光ビーム照射部1 2 7は、中央光ビームL Cの走査方向S Dの後側に円形状の照射形状（後側光照射範囲B S S）となる後側光ビームB L S（外側光ビーム、第二光ビームB e 2）を照射する。そして、前側光ビームF L Sの前側光照射範囲F S Sで、熔融池M Pの形成処理の前処理として予熱処理を行い、後側光ビームB L Sの後側光照射範囲B S Sで、造形物F Fの付加処理の後処理として保温処

理を行う。なお、第二、第三、第四実施形態においても、上記と同様、第一光ビーム B e 1 ～第四光ビーム B e 4 をそれぞれ別々に照射する照射部を設けても良い。

[0169] また、上記第一、第二、第三実施形態では、造形物 F F が、大量の第一粉末材料 P 1 と少量の結合粉末材料で成る場合を説明したが、結合粉末材料を含まない第一粉末材料 P 1 のみで成る場合も第一、第二、第三実施形態と同様に付加できる。また、軟質の材料で成る基台 B に対して炭化タングステン (WC) 以外の硬質の材料で成る造形物を付加する場合、結合粉末材料を含めずに上記軟質の材料及び上記硬質の材料の成分比を第三実施形態と同様に調整して中間造形物を付加し、結合粉末材料を含めずに上記硬質の材料のみで成る造形物を付加する場合も第三実施形態と同様に可能である。

[0170] また、上記第三、第四実施形態では、基台 B に付加する中間造形物 F C 及び造形物 F F (上部造形物) は、異種材料で成る場合について説明したが、同一材料で成る場合でも同様に適用できる。その場合、中間造形物 F C の付加は不要である。また、同一材料でなくても熱膨張係数が近い材料同士の場合も、中間造形物 F C の付加は不要である。

[0171] また、上記第一、第二、第三実施形態では、付加材料供給ユニット 1 1 0 , 3 1 0 によって、基台 B に対し粉末材料を噴射して供給したが、この態様には限らず、金属製の線形材料からなる、たとえばワイヤなどを付加材料供給ユニットにより供給して基台 B に造形物 F F を付加しても良い。これによっても、上記実施形態と同様の効果が期待できる。

[0172] 本出願は、2018年12月6日出願の日本特許出願特願2018-228886、2018年12月14日出願の日本特許出願特願2018-234110、及び2019年7月3日出願の日本特許出願特願2019-124359に基づくものであり、その内容はここに参照として取り込まれる。

請求の範囲

[請求項1]

粉末状材料及び線状材料のうち一方の材料を用いて基台に造形物を形成するように構成される付加製造装置であって、

前記基台に対し前記一方の材料を供給するように構成される付加材料供給ユニットと、

前記基台上に前記一方の材料が供給される供給部に対し光ビームを照射するように構成される光照射ユニットと、

前記付加材料供給ユニットによる前記一方の材料を供給すること、前記光照射ユニットによる光ビームを照射すること、及び前記基台に対して前記光ビームを相対的に移動させること、を制御するように構成される制御ユニットと、

を備え、

前記光照射ユニットは、前記一方の材料の前記供給部の中央部に中央光ビームを照射する中央光ビーム照射部及び前記中央光ビームの外側に外側光ビームを照射する外側光ビーム照射部を含み、前記光ビームは、前記中央光ビーム及び外側光ビームを有し、

前記制御ユニットは、前記中央光ビーム照射部の出力条件と前記外側光ビーム照射部の出力条件を独立して制御するように構成され、

前記中央光ビームは、前記中央光ビーム照射部の前記出力条件に関連するパワー密度を有し、前記外側光ビームは前記外側光ビーム照射部の前記出力条件に関連するパワー密度を有し、

前記制御ユニットは、前記中央光ビームの前記パワー密度の分布形状におけるピークと前記外側光ビームの前記パワー密度の分布形状におけるピークを調整して前記造形物を形成するように構成される、付加製造装置。

[請求項2]

前記制御ユニットは、前記中央光ビームの前記パワー密度の分布形状におけるピークを前記外側光ビームの前記パワー密度の分布形状におけるピークより増加させて前記造形物を形成するように構成される

、請求項 1 に記載の付加製造装置。

[請求項3]

前記制御ユニットは、

前記中央光ビームが照射される前記基台の中央光照射範囲に対応する第一溶融池を形成する第一形成処理及び前記一方の材料を溶融する第一溶融処理を行い、

前記光ビームが移動する前後方向において、前記前後方向の前側に配置される前記外側光ビームの第一光ビームが前記第一溶融池の第一形成処理の前に第一予熱処理を行い、

前記光ビームが移動する前記前後方向において、前記前後方向の後側に配置される前記外側光ビームの第二光ビームが前記第一溶融池の前記第一形成処理の後に第一保温処理を行うように構成される、請求項 2 に記載の付加製造装置。

[請求項4]

前記制御ユニットは、

前記中央光ビームと、前記前後方向に対して左右側に該中央光ビームに隣接する前記外側光ビームとを該前後方向に所定の距離だけ移動させる第一制御を行うように構成され、

前記制御ユニットは、前記第一制御において、前記中央光ビームが照射される前記基台の中央光照射範囲に対応する第二溶融池を形成する第二形成処理、及び前記一方の材料を溶融する第二溶融処理を行い、

前記左右側のうち一方側に配置される前記外側光ビームの第三光ビームが前記第二溶融池の前記第二形成処理の前に第二予熱処理を行い、且つ、

前記左右側のうち他方側に配置される前記外側光ビームの前記第四光ビームが前記第二溶融池の前記第二形成処理の後に第二保温処理を行うように構成され、

前記制御ユニットは、前記第一制御に続いて、前記第一制御において前記一方側に配置される前記外側光ビームの前記第三光ビームが移

動する方向に沿って、前記中央光ビームと前記左右側に該中央光ビームに隣接する前記外側光ビームとを前記前後方向に前記所定の距離だけ移動させる第二制御を行うように構成される、請求項 2 又は 3 に記載の付加製造装置。

[請求項5] 前記第一制御における前記中央光ビーム及び前記左右側に該中央光ビームに隣接する前記外側光ビームが移動する方向と、前記第二制御における前記中央光ビーム及び前記左右側に該中央光ビームに隣接する前記外側光ビームが移動する方向は同一である、請求項 4 に記載の付加製造装置。

[請求項6] 前記所定の距離は、
前記所定の距離の間において、前記中央光ビームが、前記第一制御において、前記第二溶融池を形成する前記第二形成処理、及び前記一方の材料を溶融する前記第二溶融処理を行ないつつ、前記第一制御において、前記第三光ビームが前記第二予熱処理を完了させ、前記基台の前記一方側に前記第三光ビームが移動し、且つ、

前記所定の距離の間において、前記第四光ビームが、前記第一制御において、前記基台の前記他方側にて移動し前記第二保温処理を行なった後、

前記第一制御において、前記中央光ビームが前記第二溶融池を形成する範囲に前記第四光ビームが移動したとき、

前記第二溶融池における溶融金属の温度が、所定の温度以上となるように構成される距離に設定される、請求項 4 又は 5 に記載の付加製造装置。

[請求項7] 前記所定の温度は、前記第二溶融池に溶融される前記溶融金属の凝固温度である、請求項 6 に記載の付加製造装置。

[請求項8] 前記粉末状材料は、複数種の粉末状材料を有し、
前記付加材料供給ユニットは、前記複数種の粉末状材料の成分比を調整する成分比調整ユニットを有する、請求項 1－7 の何れか 1 項に

記載の付加製造装置。

[請求項9] 複数種の粉末状材料を用いて基台に造形物を形成するように構成される付加製造装置であって、

前記複数種の粉末状材料の成分比を調整する成分比調整ユニットを有し、前記基台に対し前記成分比調整ユニットが前記成分比を調整した後の調整済粉末状材料を噴射するように供給するように構成される付加材料供給ユニットと、

前記基台上に前記調整済粉末状材料が供給される供給部に対し光ビームを照射するように構成される光照射ユニットと、

前記付加材料供給ユニットによる前記調整済粉末状材料を供給すること、前記光照射ユニットによる光ビームを照射すること、及び前記基台に対して前記光ビームを相対的に移動させることを制御するように構成される制御ユニットと、

を備え、

前記光照射ユニットは、前記調整済粉末状材料の前記供給部の中央部に中央光ビームを照射する中央光ビーム照射部及び前記中央光ビームの外側に外側光ビームを照射する外側光ビーム照射部を含み、前記光ビームは、前記中央光ビーム及び外側光ビームを有する、付加製造装置。

[請求項10] 前記制御ユニットは、前記基台の表面に前記成分比が厚さ方向に徐々に変化する中間造形物を形成するとき、前記成分比の変化に応じて前記中央光ビーム照射部の出力条件と前記外側光ビーム照射部の出力条件を独立して制御するように構成される、請求項9に記載の付加製造装置。

[請求項11] 前記中央光ビームは前記中央光ビーム照射部の前記出力条件に関連するパワー密度を有し、前記外側光ビームは前記外側光ビーム照射部の前記出力条件に関連するパワー密度を有し、

前記制御ユニットは、前記中間造形物を形成するとき、前記外側光

ビームの前記パワー密度の分布形状におけるピークを前記中央光ビームの前記パワー密度の分布形状におけるピークよりも増加させるように構成される、請求項 10 に記載の付加製造装置。

[請求項12] 前記制御ユニットは、造形物を形成するとき、前記中央光ビームのパワー密度の分布形状におけるピークを前記外側光ビームのパワー密度の分布におけるピークよりも増加させるように構成され、

前記中央光ビームが照射される前記基台の中央光照射範囲に対応する溶融池を形成する形成処理及び前記調整済粉末状材料を溶融する溶融処理を行い、且つ前記光ビームが移動する前後方向において、前記前後方向の前側に配置される前記外側光ビームが前記溶融池の形成処理の前に予熱処理を行い、前記光ビームが移動する前記前後方向において、前記前後方向の後側に配置される前記外側光ビームが前記溶融池の形成処理の後に保温処理を行うように構成される、請求項 10 又は 11 に記載の付加製造装置。

[請求項13] 前記外側光ビーム照射部から照射される前記外側光ビームは、リング状である、請求項 1 - 12 の何れか一項に記載の付加製造装置。

[請求項14] 前記制御ユニットは、前記粉末状材料の光ビーム吸収率に応じて、前記中央光ビーム照射部の出力条件と前記外側光ビーム照射部の出力条件を独立して制御するように構成される、請求項 1 に記載の付加製造装置。

[請求項15] 前記粉末状材料は、複数種の粉末状材料を有し、

前記付加材料供給ユニットは、前記複数種の粉末状材料の成分比を調整可能な成分比調整ユニットを有する、請求項 14 に記載の付加製造装置。

[請求項16] 前記制御ユニットは、前記基台の表面に前記成分比が厚さ方向に徐々に変化する中間造形物を形成するとき、前記中間造形物の光ビーム吸収率に応じて、前記中央光ビーム照射部の出力条件と前記外側光ビーム照射部の出力条件を独立して制御するように構成され、

前記中央光ビームは、前記中央光ビーム照射部の前記出力条件に関連するパワー密度を有し、前記外側光ビームは前記外側光ビーム照射部の前記出力条件に関連するパワー密度を有し、

前記制御ユニットは、

前記中央光ビームの前記パワー密度の分布形状におけるピークと前記外側光ビームの前記パワー密度の分布形状におけるピークを調整し、且つ

前記中間造形物の表面に前記複数種の粉末状材料のうち 1 種類の前記粉末状材料を有する上部造形物を形成するとき、前記上部造形物の光ビーム吸収率に応じて、前記中央光ビーム照射部の出力条件と前記外側光ビーム照射部の出力条件を独立して制御して、前記中央光ビームのパワー密度の前記分布形状における前記ピークと前記外側光ビームのパワー密度の分布形状における前記ピークを調整するように構成される、請求項 9 に記載の付加製造装置。

[請求項17]

前記制御ユニットは、

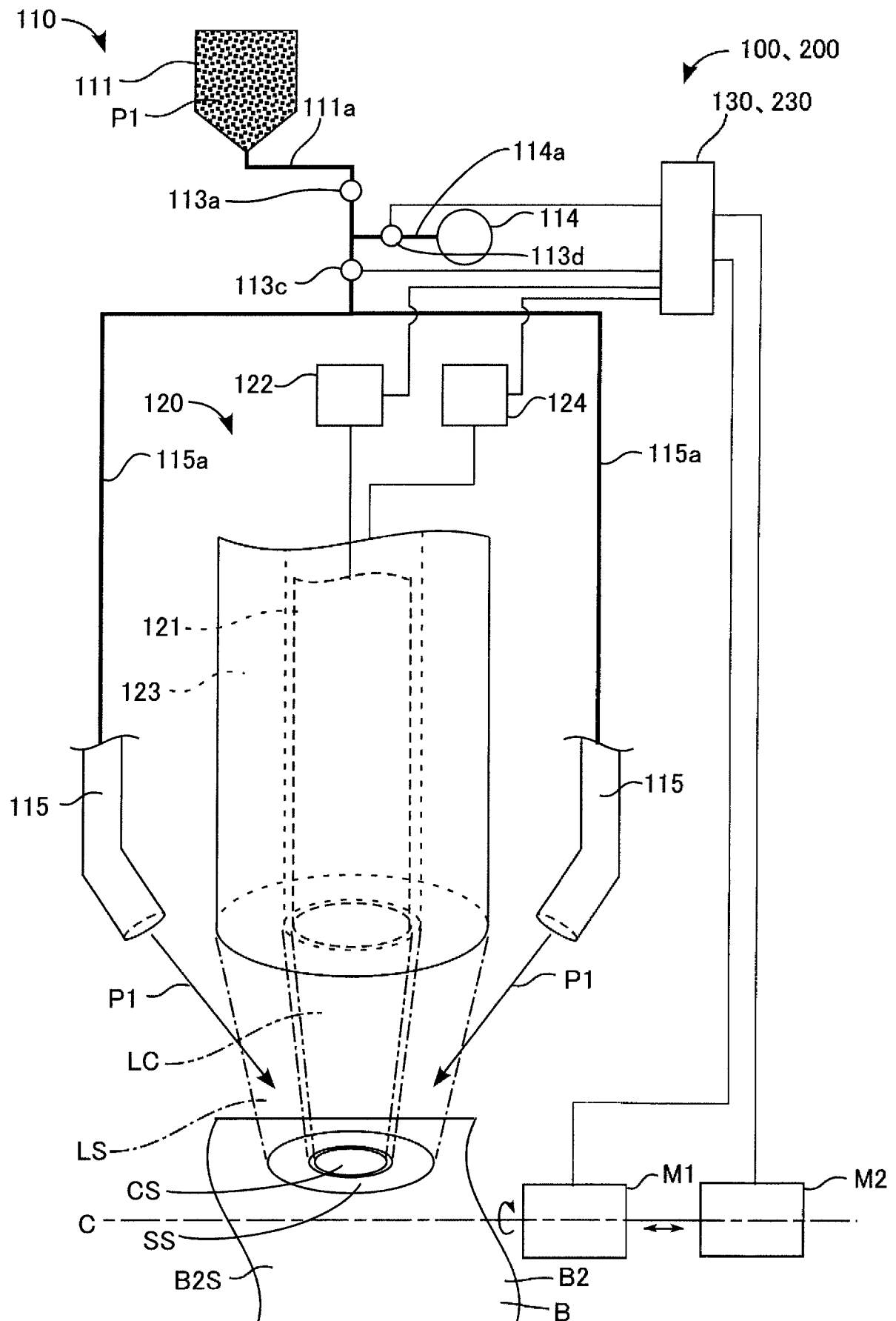
前記粉末状材料の光ビーム吸収率が比較的高い場合、前記中央光ビームのパワー密度の前記分布形状における前記ピークを前記外側光ビームのパワー密度の前記分布形状における前記ピークよりも低減し、

前記粉末状材料の光ビーム吸収率が比較的低い場合、前記中央光ビームのパワー密度の前記分布形状における前記ピークを前記外側光ビームのパワー密度の前記分布形状における前記ピークよりも増加し、その後前記中央光ビームのパワー密度の前記分布形状における前記ピークを前記外側光ビームのパワー密度の前記分布形状における前記ピークよりも低減するように構成される、請求項 14 - 16 の何れか一項に記載の付加製造装置。

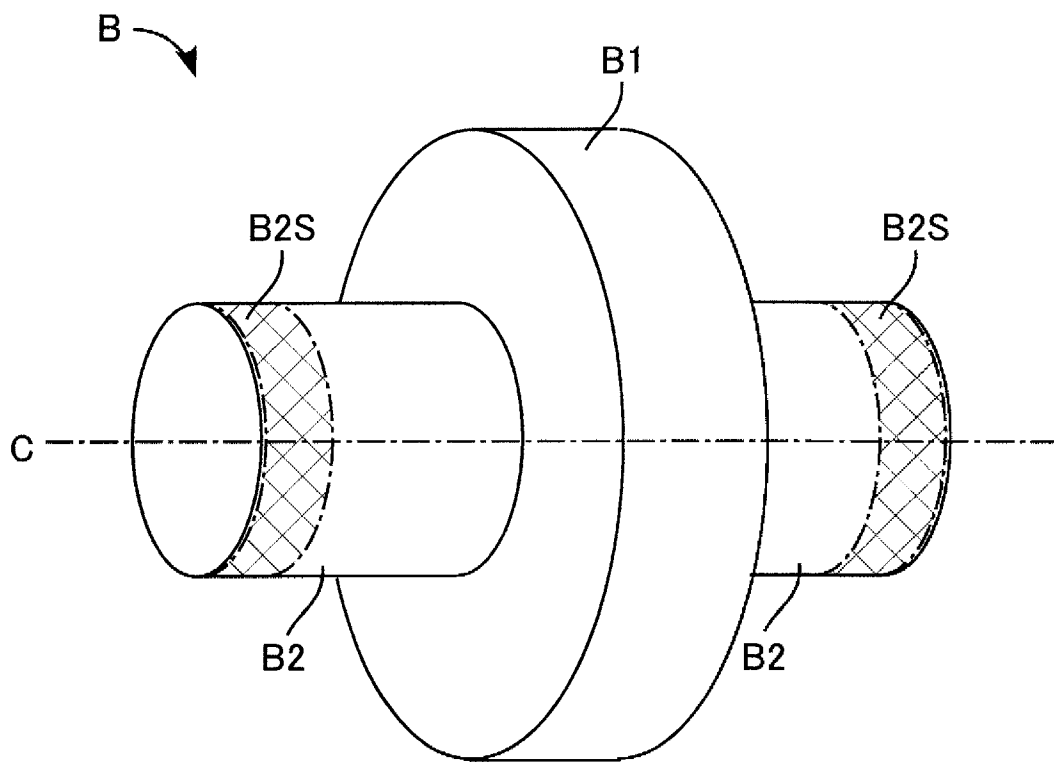
[請求項18]

前記外側光ビーム照射部から照射される前記外側光ビームは、リング状である、請求項 14 - 17 の何れか一項に記載の付加製造装置。

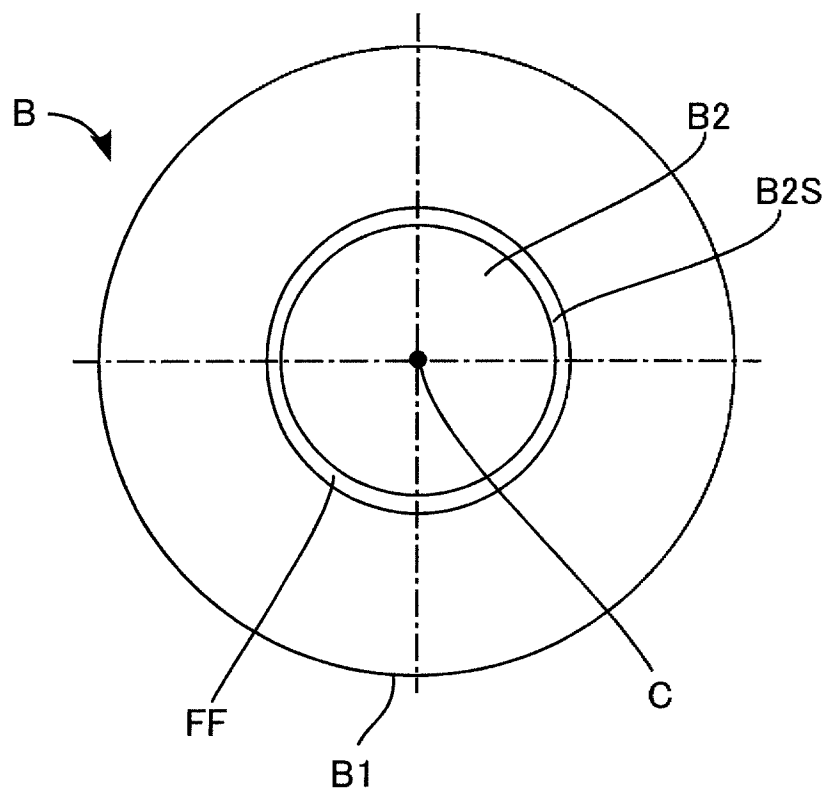
[図1]



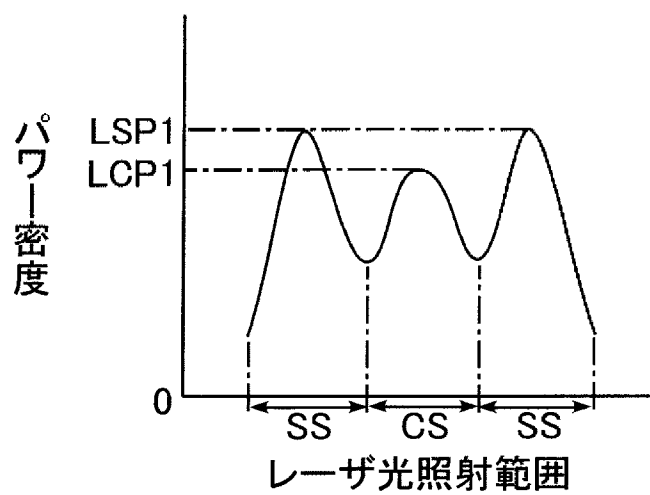
[図2A]



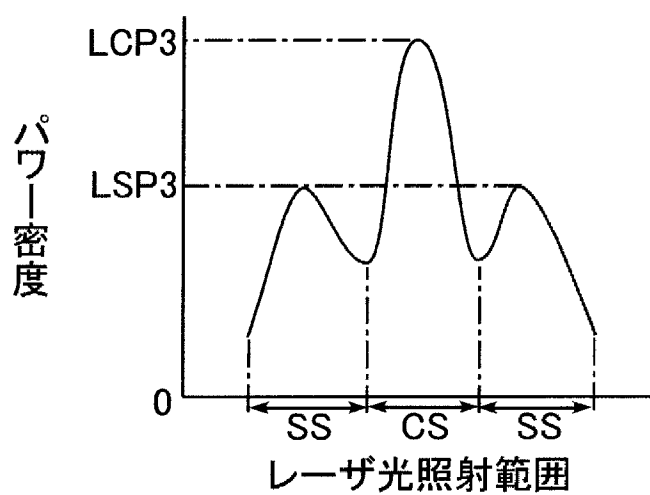
[図2B]



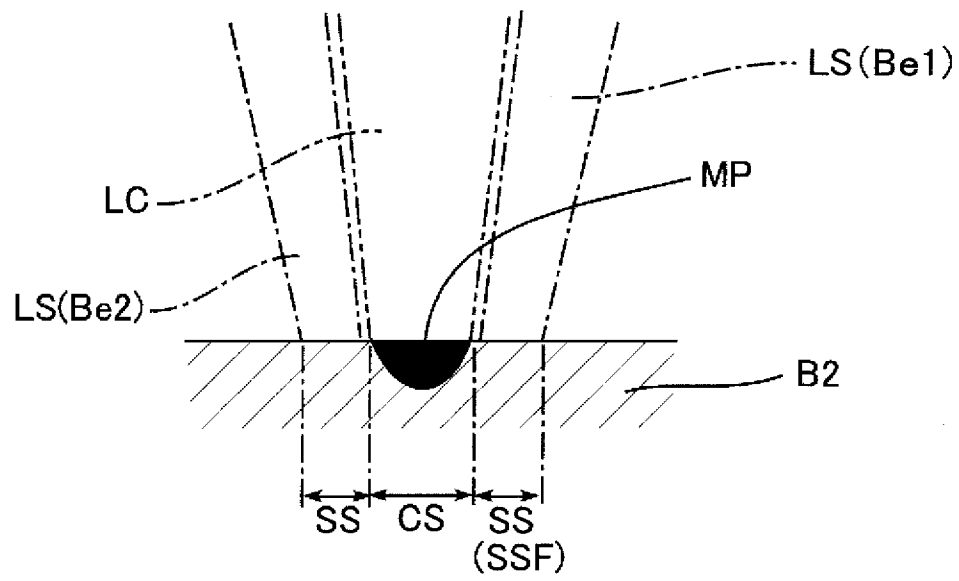
[図3A]



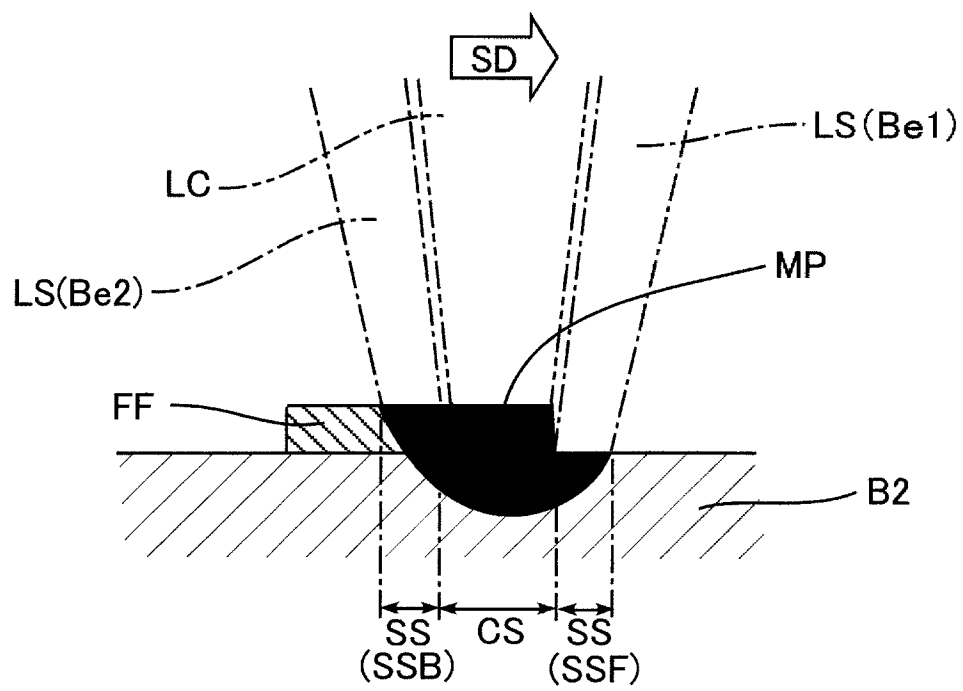
[図3B]



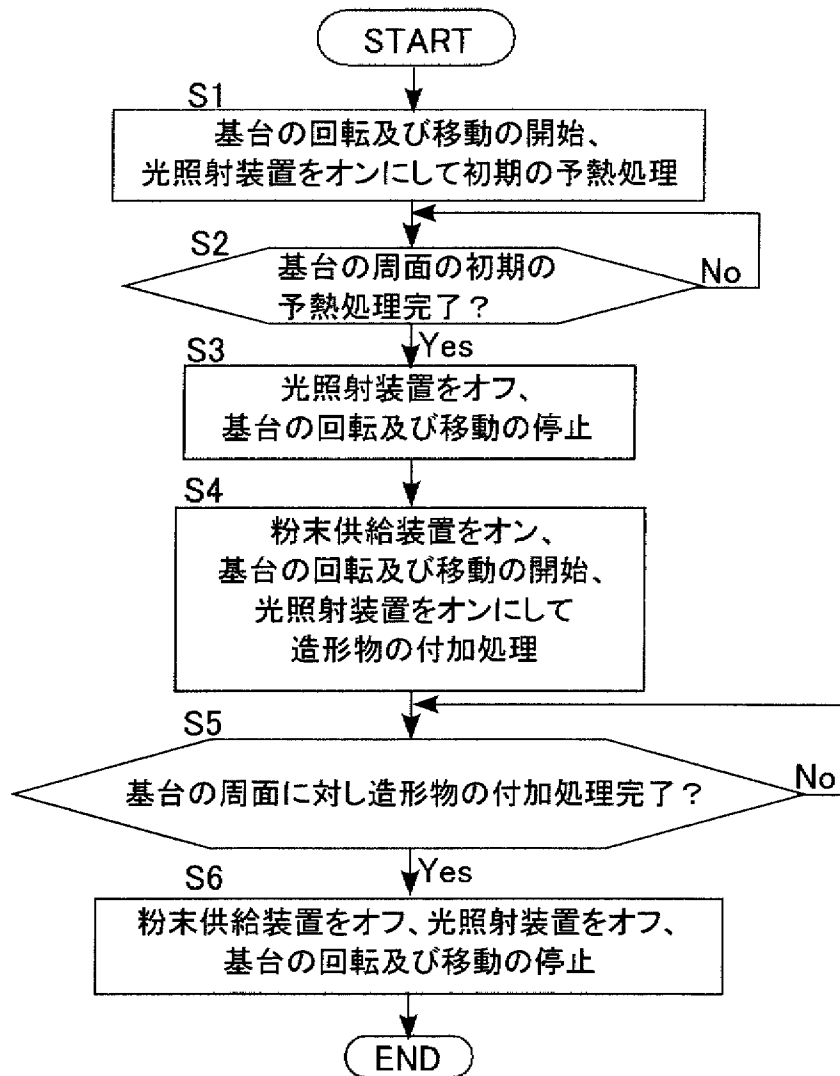
[図4A]



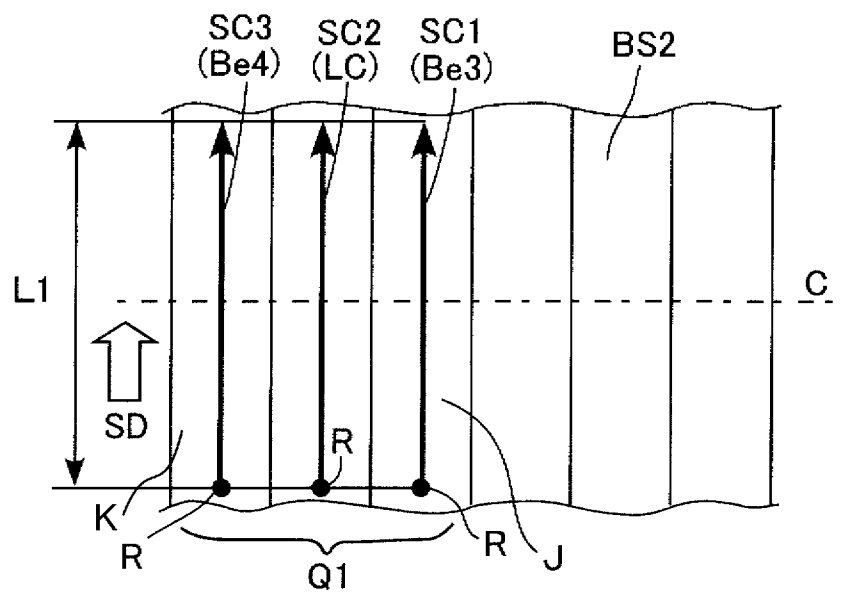
[図4B]



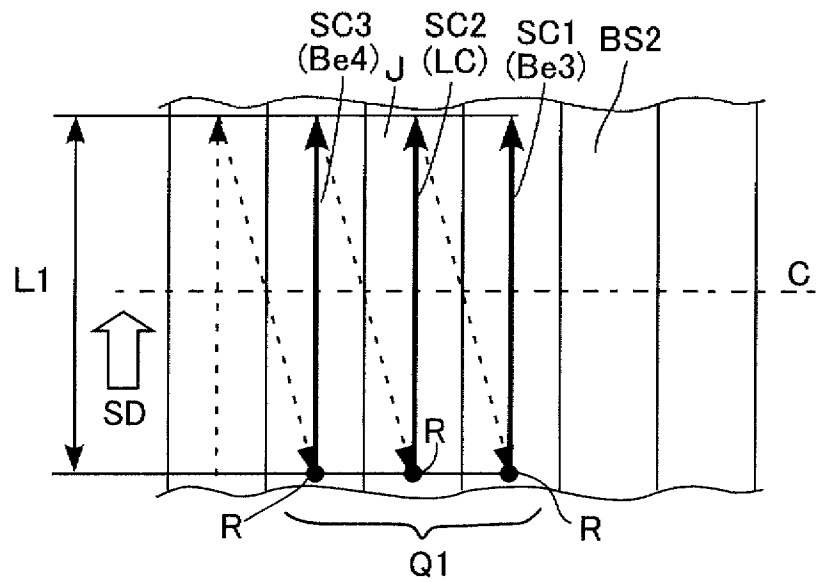
[図5]



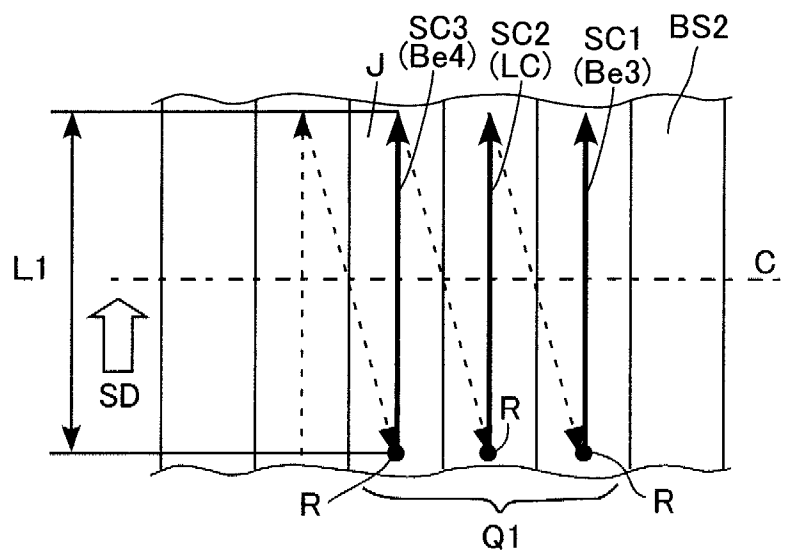
[図6A]



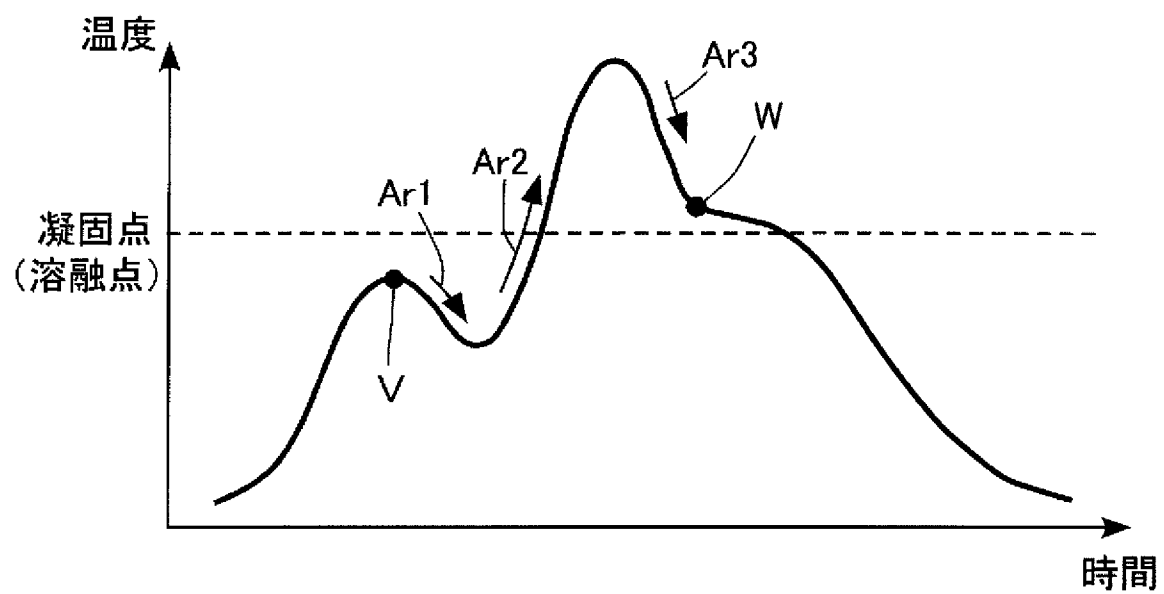
[図6B]



[図6C]

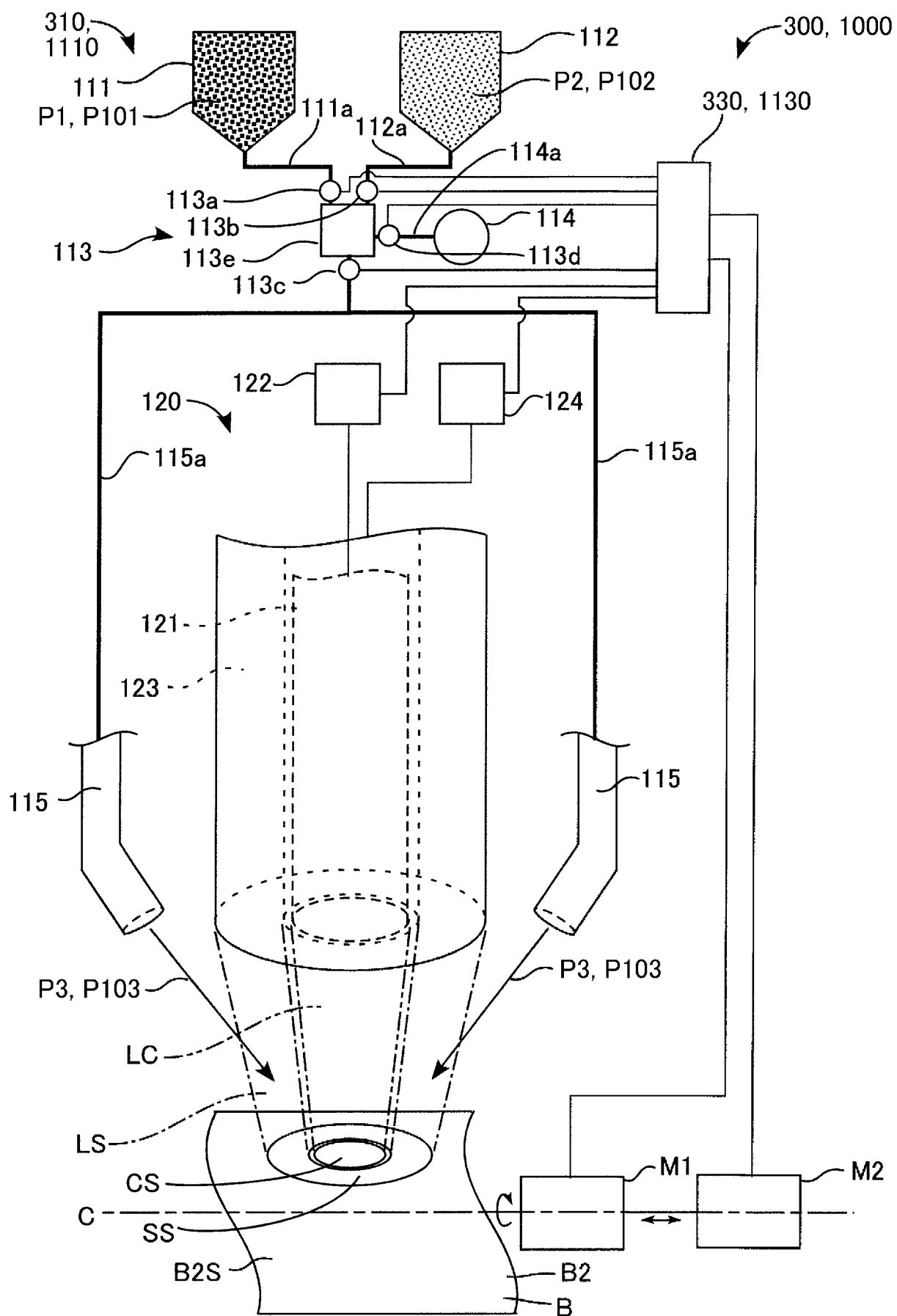


[図7]

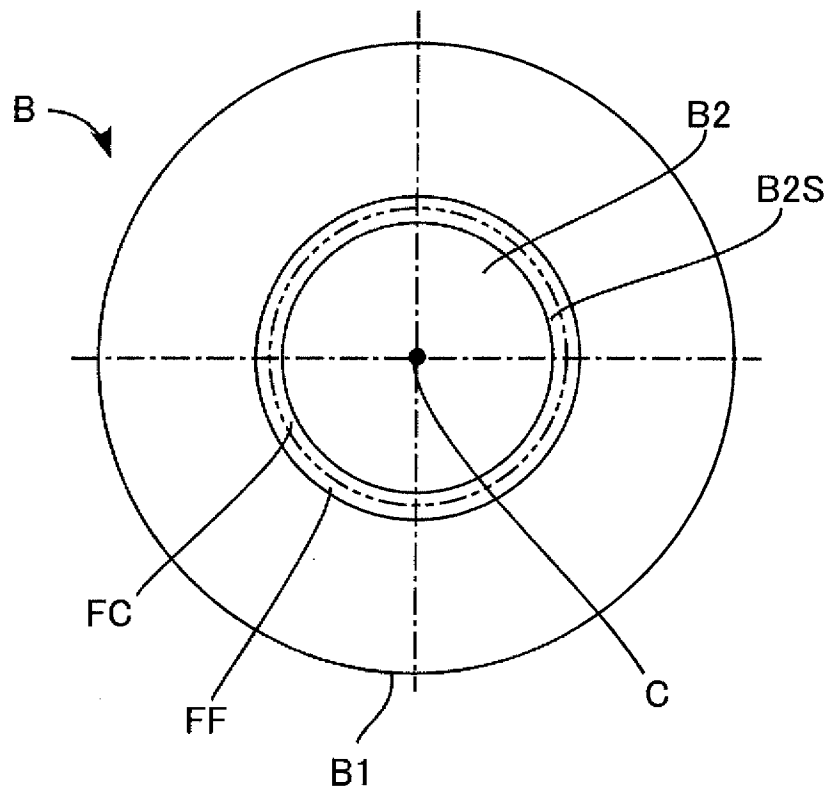


J部における走査の始点Rの時間-温度グラフ

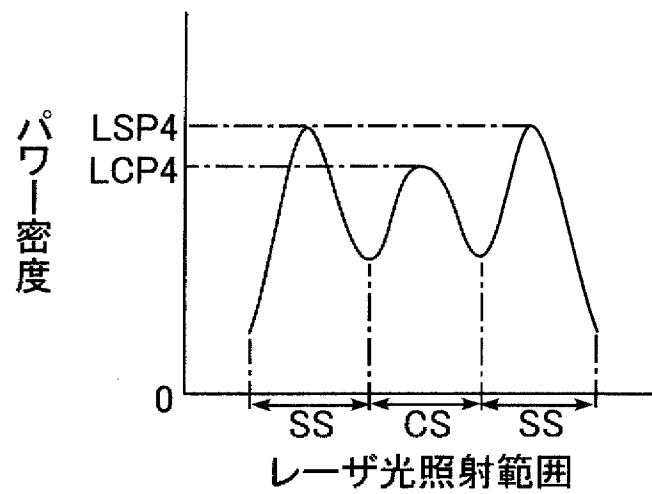
[図8]



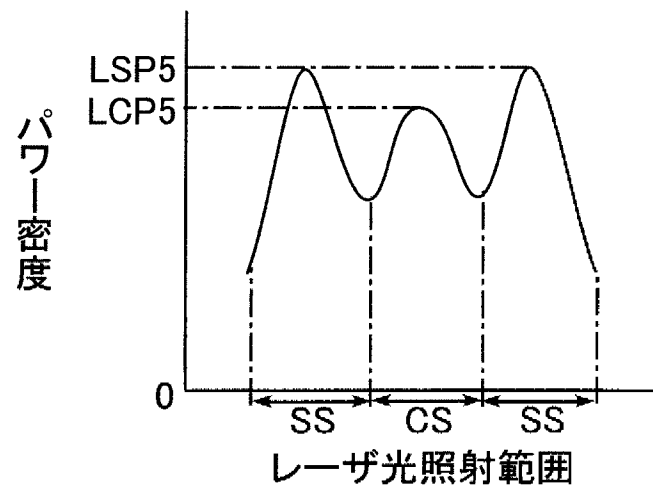
[図9]



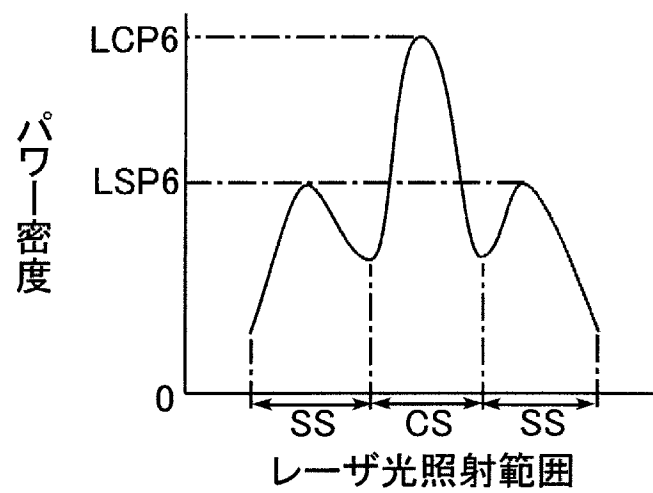
[図10A]



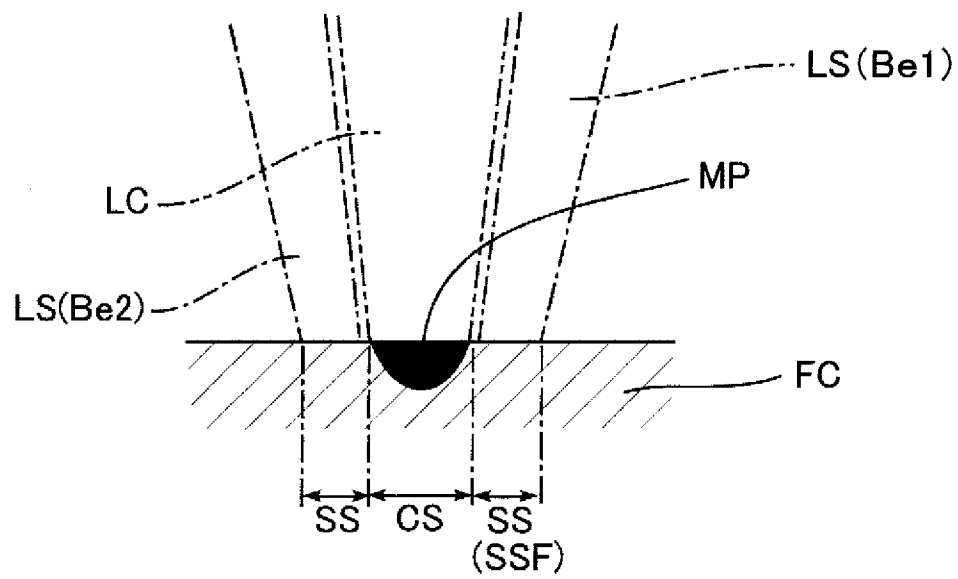
[図10B]



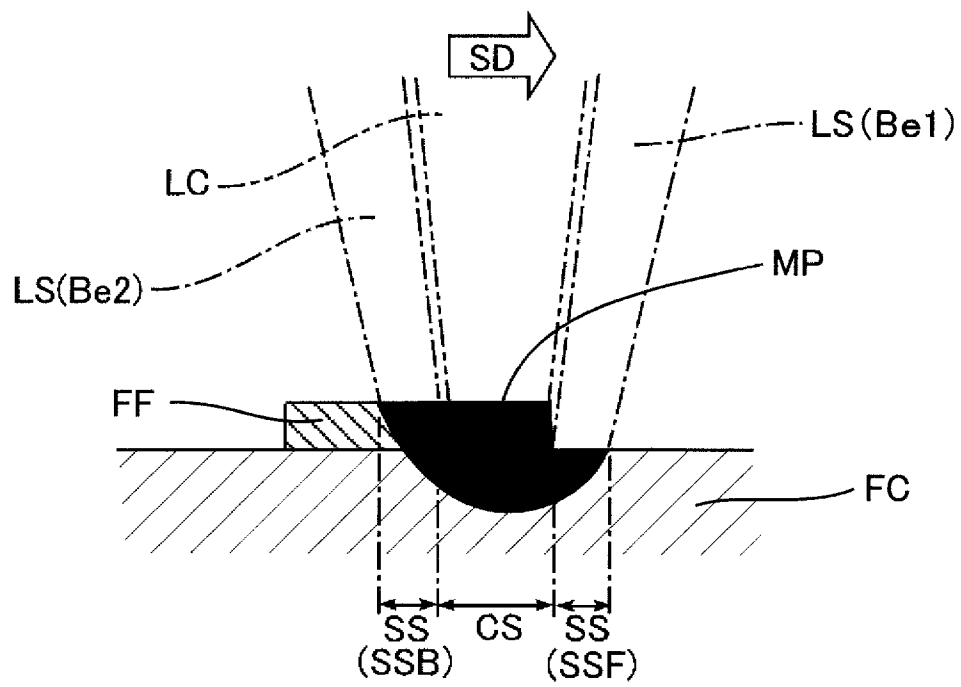
[図10C]



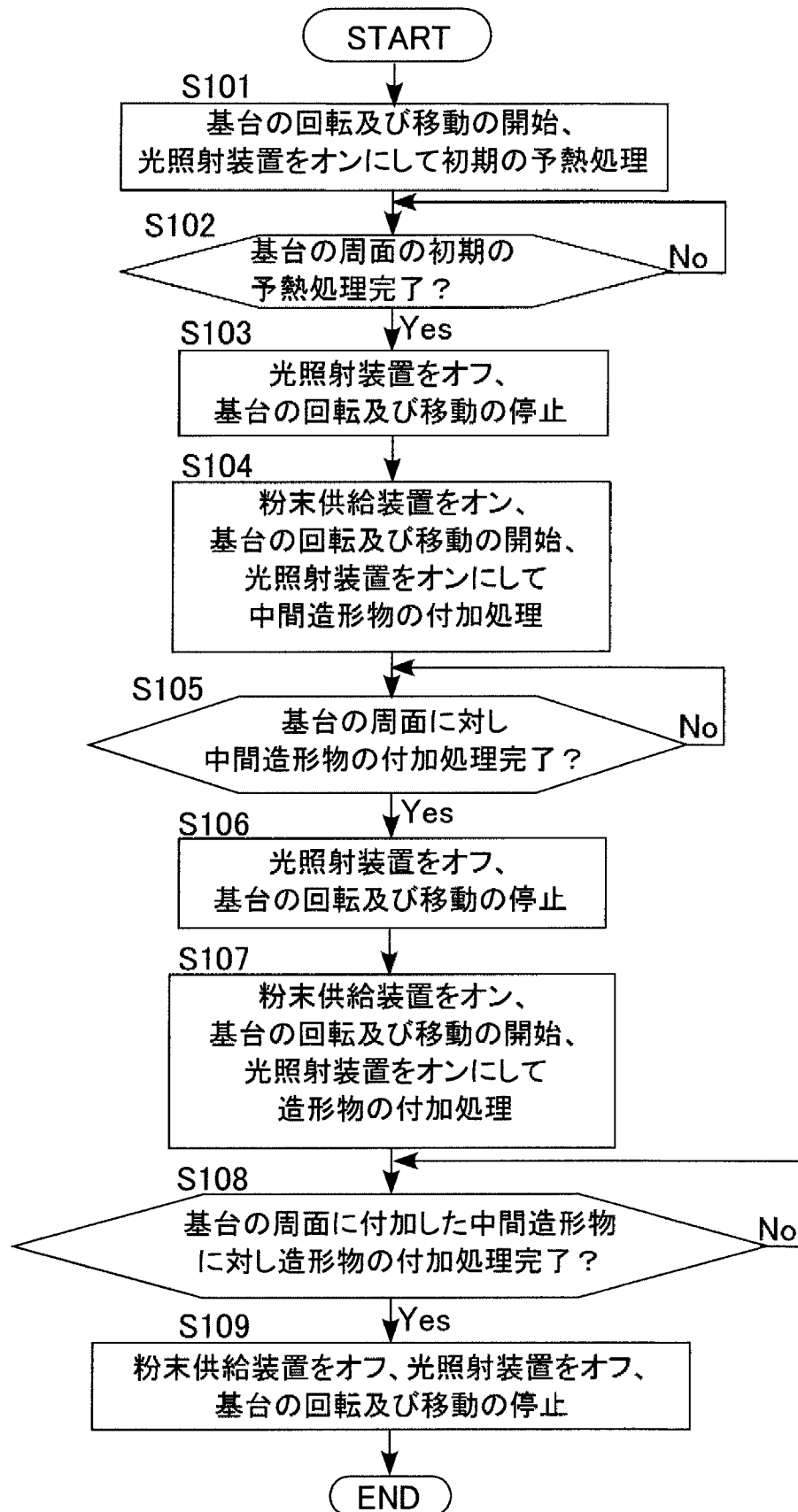
[図11A]



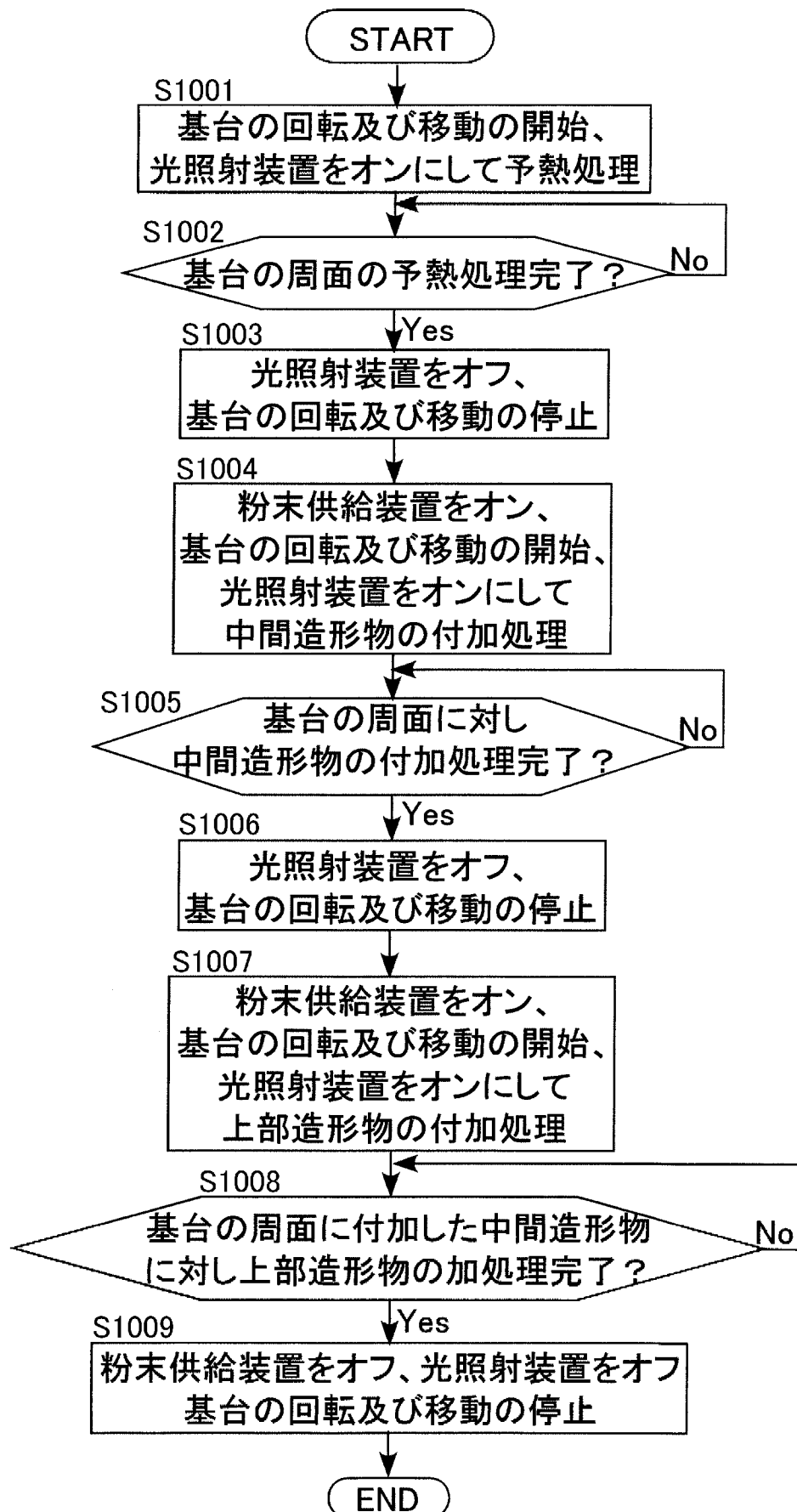
[図11B]



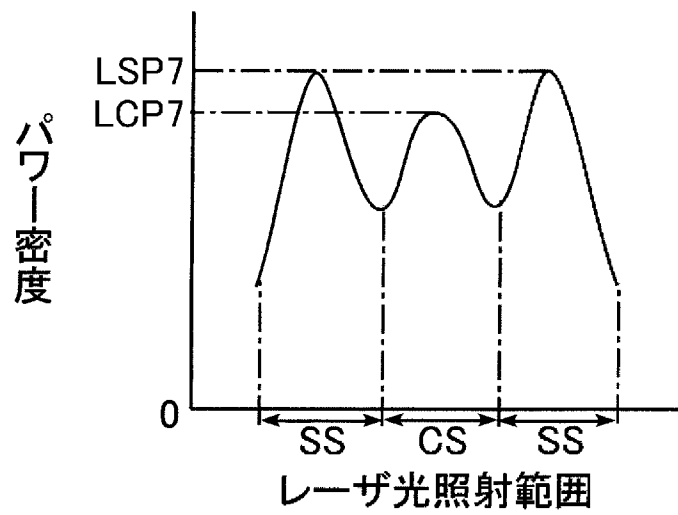
[図12]



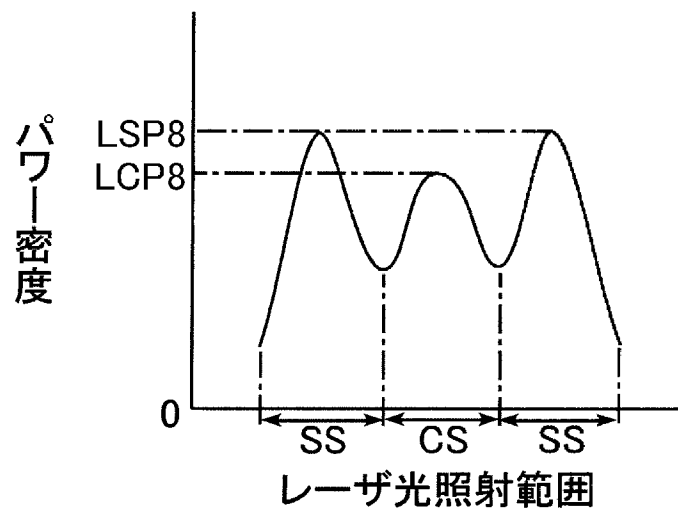
[図13]



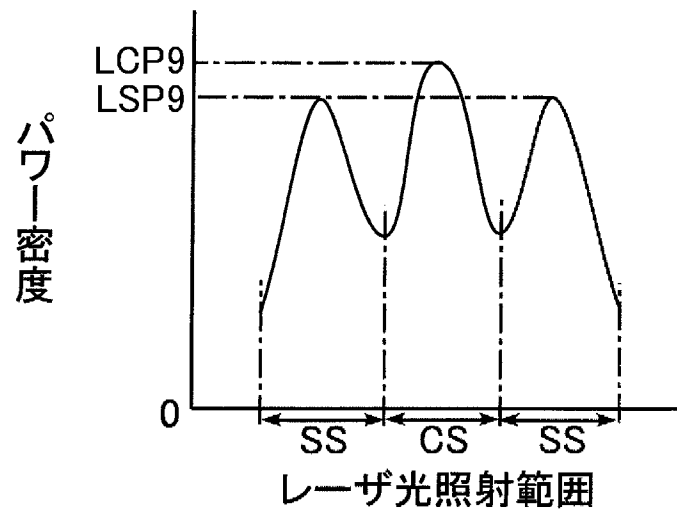
[図14A]



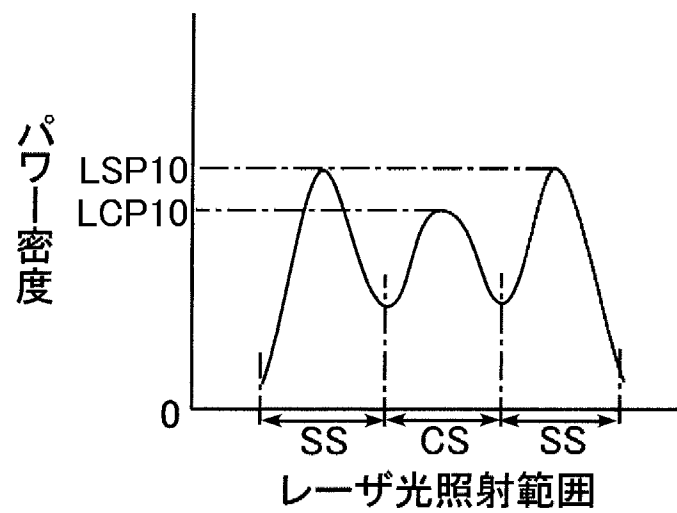
[図14B]



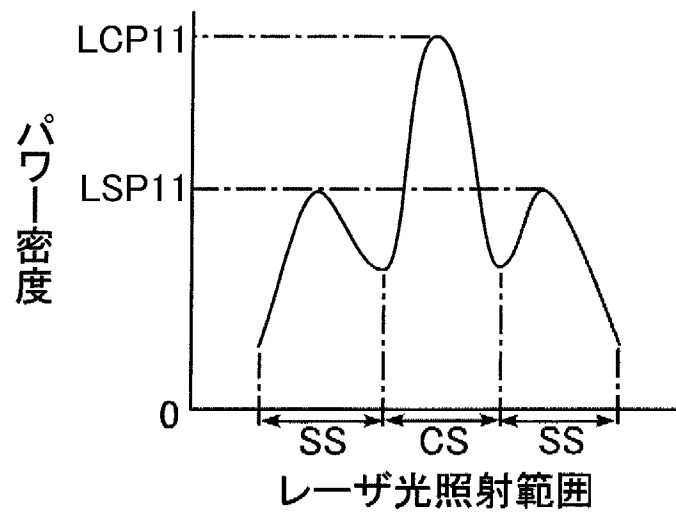
[図14C]



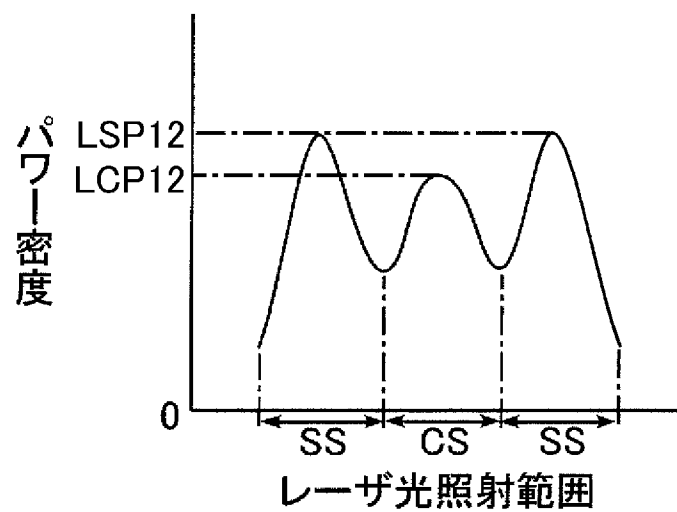
[図14D]



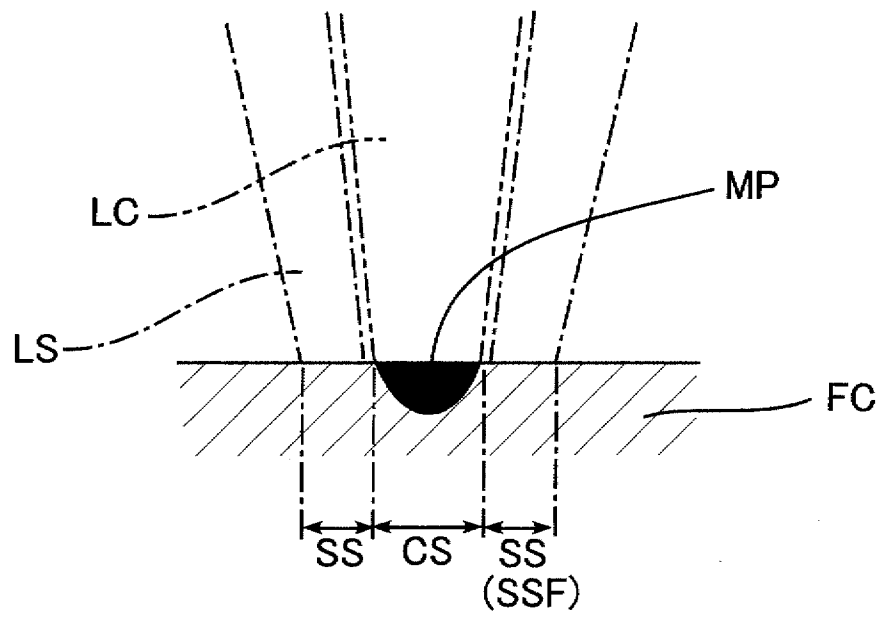
[図14E]



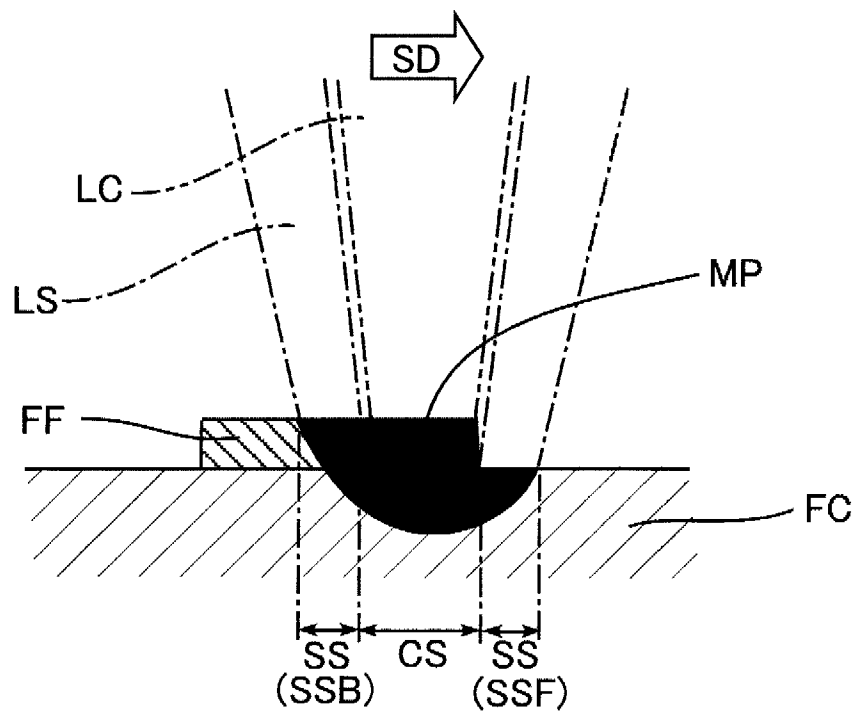
[図14F]



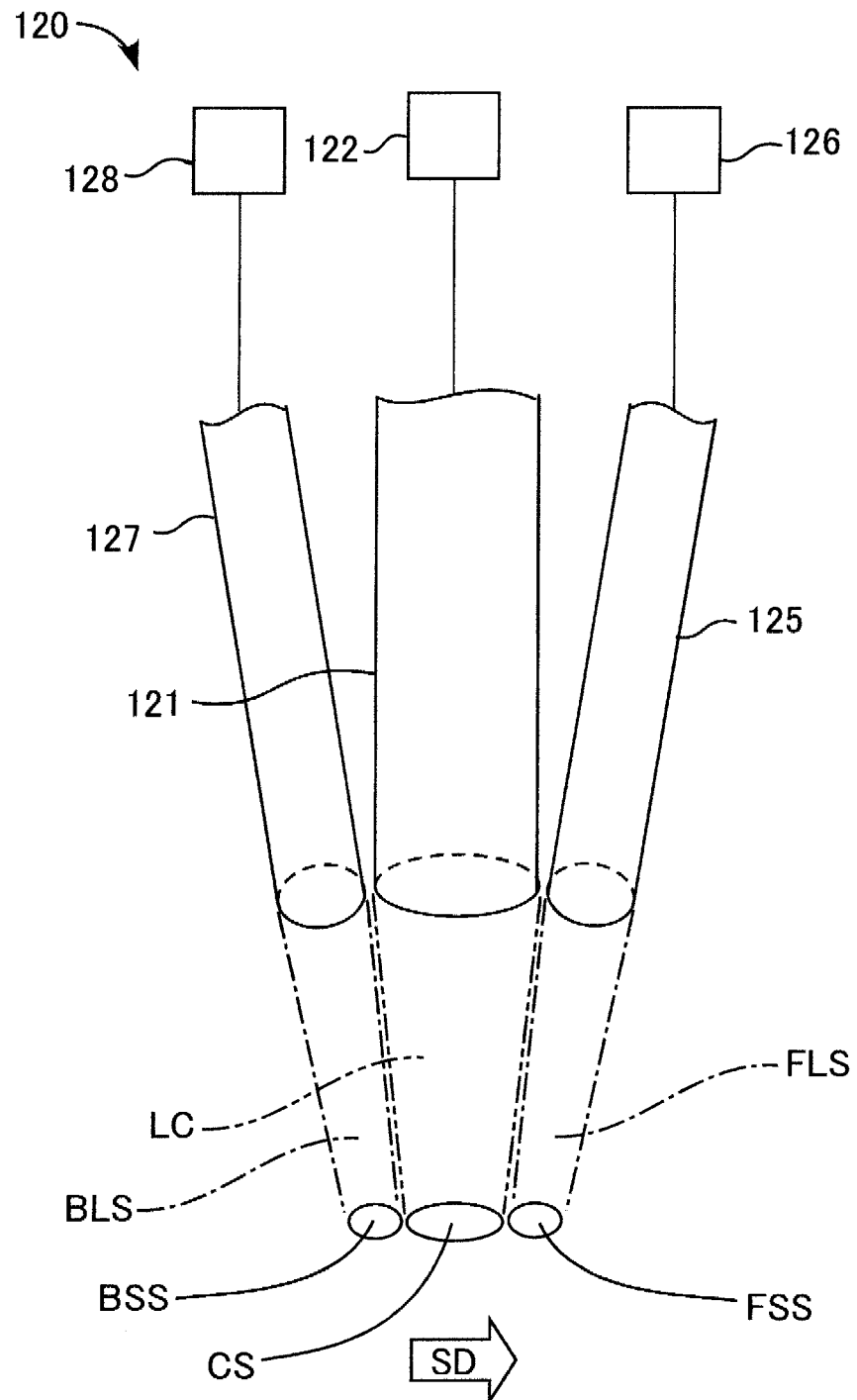
[図15A]



[図15B]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/047814

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B22F 3/105(2006.01)i; B22F 3/16(2006.01)i; B33Y 30/00(2015.01)i; B33Y 40/00(2020.01)i; B33Y 50/02(2015.01)i; B29C 64/268(2017.01)i; B29C 64/336(2017.01)i; B29C 64/343(2017.01)i; B29C 64/393(2017.01)i

FI: B22F3/16; B33Y30/00; B33Y50/02; B29C64/268; B29C64/336; B33Y40/00; B29C64/343; B29C64/393; B22F3/105

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)

B22F3/105; B22F3/16; B33Y30/00; B33Y40/00; B33Y50/02; B29C64/268; B29C64/336; B29C64/343; B29C64/393

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	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

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	KR 10-1787718 B1 (KOREA INST MACH & MATERIALS) 16.11.2017 (2017-11-16) paragraphs [0005], [0023]-[0088], fig. 3-9	1-3, 13, 14, 18
Y		4-12, 15-17
Y	JP 2017-179575 A (CANON INC.) 05.10.2017 (2017-10-05) paragraphs [0006], [0032]-[0034], [0083]-[0086], fig. 4, 10	4-8
Y	JP 2016-172893 A (SEIKO EPSON CORP.) 29.09.2016 (2016-09-29) paragraphs [0067]-[0074], fig. 5	8-12, 15-17
Y	JP 2017-530260 A (HYBRID MANUFACTURING TECHNOLOGIES LIMITED) 12.10.2017 (2017-10-12) paragraph [0160], fig. 25	11, 12, 17



Further documents are listed in the continuation of Box C.



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
13 February 2020 (13.02.2020)

Date of mailing of the international search report
25 February 2020 (25.02.2020)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
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/JP2019/047814

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
KR 10-1787718 B1	16 Nov. 2017	(Family: none)	
JP 2017-179575 A	05 Oct. 2017	US 2017/0282244 A1 paragraphs [0005], [0044]-[0047], [0099]-[0103], fig. 4, 10	
JP 2016-172893 A	29 Sep. 2016	CN 107262712 A US 2016/0271696 A1 paragraphs [0082]- [0089], fig. 5	
JP 2017-530260 A	12 Oct. 2017	CN 105983696 A US 2017/0129180 A1 paragraph [0289], fig. 25	
		GB 201410229 D	
		GB 201412843 D	
		GB 201423407 D	
		GB 201506154 D	
		WO 2015/189600 A2	
		EP 3152034 A	
		CN 106457495 A	
		KR 10-2017-0018006 A	
		BR 112016028857 A	
		SG 11201610234V A	
		SG 10201810803S A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B22F 3/105(2006.01)i; B22F 3/16(2006.01)i; B33Y 30/00(2015.01)i; B33Y 40/00(2020.01)i; B33Y 50/02(2015.01)i; B29C 64/268(2017.01)i; B29C 64/336(2017.01)i; B29C 64/343(2017.01)i; B29C 64/393(2017.01)i FI: B22F3/16; B33Y30/00; B33Y50/02; B29C64/268; B29C64/336; B33Y40/00; B29C64/343; B29C64/393; B22F3/105																				
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）） B22F3/105; B22F3/16; B33Y30/00; B33Y40/00; B33Y50/02; B29C64/268; B29C64/336; B29C64/343; B29C64/393 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2020年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2020年	日本国実用新案登録公報	1996-2020年	日本国登録実用新案公報	1994-2020年										
日本国実用新案公報	1922-1996年																			
日本国公開実用新案公報	1971-2020年																			
日本国実用新案登録公報	1996-2020年																			
日本国登録実用新案公報	1994-2020年																			
C. 関連すると認められる文献 <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>KR 10-1787718 B1 (KOREA INST MACH & MATERIALS) 16.11.2017 (2017-11-16) 段落[0005], [0023]-[0088], 図3-9</td> <td>1-3, 13, 14, 18</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td></td> <td>4-12, 15-17</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 2017-179575 A (キャノン株式会社) 05.10.2017 (2017-10-05) 段落[0006], [0032]-[0034], [0083]-[0086], 図4, 10</td> <td>4-8</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 2016-172893 A (セイコーエプソン株式会社) 29.09.2016 (2016-09-29) 段落[0067]-[0074], 図5</td> <td>8-12, 15-17</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 2017-530260 A (ハイブリッド マニファクチュアリング テクノロジーズ リミ テッド) 12.10.2017 (2017-10-12) 段落[0160], 図25</td> <td>11, 12, 17</td> </tr> </tbody> </table>			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	KR 10-1787718 B1 (KOREA INST MACH & MATERIALS) 16.11.2017 (2017-11-16) 段落[0005], [0023]-[0088], 図3-9	1-3, 13, 14, 18	Y		4-12, 15-17	Y	JP 2017-179575 A (キャノン株式会社) 05.10.2017 (2017-10-05) 段落[0006], [0032]-[0034], [0083]-[0086], 図4, 10	4-8	Y	JP 2016-172893 A (セイコーエプソン株式会社) 29.09.2016 (2016-09-29) 段落[0067]-[0074], 図5	8-12, 15-17	Y	JP 2017-530260 A (ハイブリッド マニファクチュアリング テクノロジーズ リミ テッド) 12.10.2017 (2017-10-12) 段落[0160], 図25	11, 12, 17
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	KR 10-1787718 B1 (KOREA INST MACH & MATERIALS) 16.11.2017 (2017-11-16) 段落[0005], [0023]-[0088], 図3-9	1-3, 13, 14, 18																		
Y		4-12, 15-17																		
Y	JP 2017-179575 A (キャノン株式会社) 05.10.2017 (2017-10-05) 段落[0006], [0032]-[0034], [0083]-[0086], 図4, 10	4-8																		
Y	JP 2016-172893 A (セイコーエプソン株式会社) 29.09.2016 (2016-09-29) 段落[0067]-[0074], 図5	8-12, 15-17																		
Y	JP 2017-530260 A (ハイブリッド マニファクチュアリング テクノロジーズ リミ テッド) 12.10.2017 (2017-10-12) 段落[0160], 図25	11, 12, 17																		
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ 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 13.02.2020		国際調査報告の発送日 25.02.2020																		
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） 池田 安希子 4E 4175 電話番号 03-3581-1101 内線 3425																		

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/JP2019/047814

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
KR	10-1787718	B1	16.11.2017	(ファミリーなし)	
JP	2017-179575	A	05.10.2017	US 2017/0282244 A1 段落[0005], [0044]-[0047], [0099]-[0103], 図4, 10 CN 107262712 A	
JP	2016-172893	A	29.09.2016	US 2016/0271696 A1 段落[0082]-[0089], 図5 CN 105983696 A	
JP	2017-530260	A	12.10.2017	US 2017/0129180 A1 段落[0289], 図25 GB 201410229 D GB 201412843 D GB 201423407 D GB 201506154 D WO 2015/189600 A2 EP 3152034 A CN 106457495 A KR 10-2017-0018006 A BR 112016028857 A SG 11201610234V A SG 10201810803S A	