

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-189007  
(P2015-189007A)

(43) 公開日 平成27年11月2日(2015.11.2)

(51) Int.Cl.  
B29C 67/00 (2006.01)

F I  
B29C 67/00

テーマコード (参考)  
4F213

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 40 頁)

(21) 出願番号 特願2014-65667 (P2014-65667)  
(22) 出願日 平成26年3月27日 (2014. 3. 27)

(71) 出願人 000002369  
セイコーエプソン株式会社  
東京都新宿区西新宿2丁目4番1号  
(74) 代理人 100090387  
弁理士 布施 行夫  
(74) 代理人 100090398  
弁理士 大淵 美千栄  
(72) 発明者 傳田 敦  
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内  
(72) 発明者 北田 憲司  
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

最終頁に続く

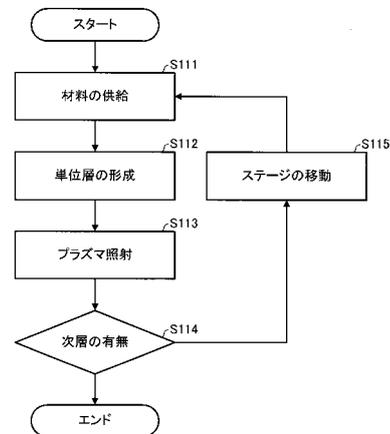
(54) 【発明の名称】 造形物の製造方法

(57) 【要約】

【課題】樹脂材料を利用した積層造形法によって製造される造形物の精度および強度を向上できる造形物の製造方法を提供する。

【解決手段】本発明に係る造形物の製造方法は、材料または工程の一部に樹脂材料を利用し、造形物をN個の層に分離した単位層を第1層から第N層まで順番に形成しながら積み重ねることによって造形物を製造する方法であって、前記単位層の形成の過程において、および、前記単位層を形成し終えた後、次の単位層を形成し始める前のうち、少なくとも1つのタイミングで放電処理することを特徴とする。

【選択図】 図5



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

材料または工程の一部に樹脂材料を利用し、造形物を N 個の層に分離した単位層を第 1 層から第 N 層まで順番に形成しながら積み重ねることによって造形物を製造する方法であって、

前記単位層の形成の過程において、および、

前記単位層を形成し終えた後、次の単位層を形成し始める前のうち、

少なくとも 1 つのタイミングで放電処理することを特徴とする、造形物の製造方法。

## 【請求項 2】

前記樹脂材料が加熱することにより溶融する熱可塑性樹脂であり、

溶融させた前記樹脂材料をステージ上に供給し、該樹脂材料を硬化させることによって単位層を形成することを特徴とする、請求項 1 に記載の造形物の製造方法。

10

## 【請求項 3】

前記樹脂材料がパウダー状であり、

前記パウダー状の樹脂材料をステージ上に供給し、該樹脂材料を部分的に硬化させることによって単位層を形成し、

前記単位層を形成し終えた後、次の単位層を形成し始める前に、放電処理することを特徴とする、請求項 1 に記載の造形物の製造方法。

## 【請求項 4】

パウダー状の基材をステージ上に供給した後、前記基材同士を結着させるための前記樹脂材料を含有する液体材料を塗布し、該液体材料を硬化させることによって単位層を形成し、

20

前記液体材料を塗布した後、該液体材料を硬化させる前、および、

前記単位層を形成し終えた後、次の単位層を形成し始める前のうち、

少なくとも 1 つのタイミングで放電処理することを特徴とする、請求項 1 に記載の造形物の製造方法。

## 【請求項 5】

パウダー状の基材を含有するペースト層を形成した後、前記ペースト層上に前記基材同士を結着させるための前記樹脂材料を含有する液体材料を塗布し、該液体材料を硬化させることによって単位層を形成し、

30

前記ペースト層を形成した後、前記液体材料を塗布する前、

前記液体材料を塗布した後、前記液体材料を硬化させる前、および、

前記液体材料を硬化した後、次の単位層を形成し始める前のうち、

少なくとも 1 つのタイミングで放電処理することを特徴とする、請求項 1 に記載の造形物の製造方法。

## 【請求項 6】

前記液体材料の塗布は、前記液体材料をインクジェット方式で射出することによって行われる、請求項 4 または請求項 5 に記載の造形物の製造方法。

## 【請求項 7】

インクジェット方式で前記樹脂材料を含有する液体材料を塗布し、前記液体材料にエネルギーを付与して硬化させることによって単位層を形成し、

40

前記液体材料を塗布した後、前記液体材料を硬化させる前、および、

前記液体材料を硬化した後、次の単位層を形成し始める前のうち、

少なくとも 1 つのタイミングで放電処理することを特徴とする、請求項 1 に記載の造形物の製造方法。

## 【請求項 8】

前記放電処理が不活性ガスを含む雰囲気下で行われることを特徴とする、請求項 1 ないし請求項 7 のいずれか一項に記載の造形物の製造方法。

## 【請求項 9】

前記放電処理が酸素を含む雰囲気下で行われることを特徴とする、請求項 1 ないし請求

50

項 7 のいずれか一項に記載の造形物の製造方法。

【請求項 10】

前記放電処理がフッ素を含む雰囲気下で行われることを特徴とする、請求項 1 ないし請求項 7 のいずれか一項に記載の造形物の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、造形物の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、三次元の物体を造形できる 3D プリンターの需要が高まってきている。このような 3D プリンターによる造形方法としては、積層造形法が一般的である。積層造形法は、造形物を N 個の層に分離して、第 1 層から第 N 層までの各単位層を順番に造形しながら積み重ねていく方法である。

【0003】

今日、積層造形を行うための様々な方法が研究されており、その一部が実用化されている。これらの方法の中には、材料や工程の一部に樹脂材料を利用するものが存在する。このような樹脂材料を利用した積層造形法の具体例としては、例えば以下の特許文献に開示されているものが挙げられる。

【0004】

特許文献 1 および特許文献 2 には、押出による積層堆積システムを用い、ABS 樹脂を押出ヘッドで熔融させ、それを押出すことによって単位層を形成し、その単位層を堆積させることによって 3D オブジェクトを形成する方法が記載されている。

【0005】

特許文献 3 および特許文献 4 には、両親媒性固体ポリマーを含有する造形用スラリーを用いて、3D オブジェクトを形成する方法が記載されている。

【0006】

特許文献 5 および特許文献 6 には、光硬化性を有する樹脂成分を用いて、インクジェット光造形法により 3D オブジェクトを形成する方法が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献 1】特表 2010-521339 号公報

【特許文献 2】特許第 4107686 号公報

【特許文献 3】特開 2011-245712 号公報

【特許文献 4】特開 2011-245713 号公報

【特許文献 5】特開 2012-111226 号公報

【特許文献 6】特開 2012-71611 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

一般に、三次元の物体を造形する際には、高い精度や強度が求められる。しかしながら、流動性を持たせた樹脂材料は、その性質上、一カ所に留まりにくく、製造の際に広がってしまったり、意図せぬ方向に流れてしまったりすることがあり、精度の確保が困難であった。また、単位層間の結着力が弱いと、層間剥離を生じてしまい、所望の強度が得られない場合があった。

【0009】

そこで、本発明に係る幾つかの態様は、上記課題の少なくとも一部を解決することで、樹脂材料を利用した積層造形法によって製造される造形物の精度および強度を向上できる造形物の製造方法を提供するものである。

10

20

30

40

50

## 【課題を解決するための手段】

## 【0010】

本発明は上述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の態様または適用例として実現することができる。

## 【0011】

## [適用例1]

本発明に係る造形物の製造方法の一態様は、

材料または工程の一部に樹脂材料を利用し、造形物をN個の層に分離した単位層を第1層から第N層まで順番に形成しながら積み重ねることによって造形物を製造する方法であって、

前記単位層の形成の過程において、および、

前記単位層を形成し終えた後、次の単位層を形成し始める前のうち、少なくとも1つのタイミングで放電処理することを特徴とする。

## 【0012】

適用例1の造形物の製造方法によれば、放電処理によって単位層の積層界面の状態や性質を変えることで、樹脂材料同士、あるいは樹脂材料と他の材料との親和性を高めたり、単位層どうしの界面（以下、「単位層の積層界面」と称する場合もある）の状態を整えたり、樹脂材料の結合性や反応性を高めたりすることが可能となる。その結果、造形物の精度や強度を向上させることができる。

## 【0013】

## [適用例2]

適用例1の造形物の製造方法において、

前記樹脂材料が加熱することにより溶融する熱可塑性樹脂であり、

溶融させた前記樹脂材料をステージ上に供給し、該樹脂材料を硬化させることによって単位層を形成することができる。

## 【0014】

適用例2の造形物の製造方法によれば、放電処理によって単位層の積層界面を適度に荒らすことによるアンカー効果や、表面の重合結合の切断後、上層を付与することで、単位層間の界面強度（密着性）が向上する。また、目的に応じたガス種を選択し、放電処理を行うことで、単位層の積層界面のぬれ性を制御することができ、加工精度も向上する。

## 【0015】

## [適用例3]

適用例1の造形物の製造方法において、

前記樹脂材料がパウダー状であり、

前記パウダー状の樹脂材料をステージ上に供給し、該樹脂材料を部分的に硬化させることによって単位層を形成し、

前記単位層を形成し終えた後、次の単位層を形成し始める前に、放電処理することができる。

## 【0016】

適用例3の造形物の製造方法によれば、放電処理によって単位層の積層界面を適度に荒らすことによるアンカー効果や、表面の重合結合の切断後、上層を付与することで、単位層間の界面強度（密着性）が向上する。

## 【0017】

## [適用例4]

適用例1の造形物の製造方法において、

パウダー状の基材をステージ上に供給した後、前記基材同士を結着させるための前記樹脂材料を含有する液体材料を塗布し、該液体材料を硬化させることによって単位層を形成し、

前記液体材料を塗布した後、該液体材料を硬化させる前、および、

前記単位層を形成し終えた後、次の単位層を形成し始める前のうち、

10

20

30

40

50

少なくとも1つのタイミングで放電処理することができる。

【0018】

適用例4の造形物の製造方法によれば、放電処理によって単位層の積層界面を適度に荒らすことによるアンカー効果や、表面の重合結合の切断後、上層を付与することで、単位層間の界面強度（密着性）が向上する。また、目的に応じたガス種を選択し、放電処理を行うことで、単位層の積層界面のぬれ性を制御することができ、加工精度も向上する。さらに、前記液体材料が放射線によって硬化する材料である場合には、前記液体材料を塗布した後、該液体材料を硬化させる前に放電処理を行うことで、液体材料表面において酸素による重合阻害を低減することができるため、液体材料の放射線による硬化性が向上する。

10

【0019】

[適用例5]

適用例1の造形物の製造方法において、

パウダー状の基材を含有するペースト層を形成した後、前記ペースト層上に前記基材同士を結着させるための前記樹脂材料を含有する液体材料を塗布し、該液体材料を硬化させることによって単位層を形成し、

前記ペースト層を形成した後、前記液体材料を塗布する前、

前記液体材料を塗布した後、前記液体材料を硬化させる前、および、

前記液体材料を硬化した後、次の単位層を形成し始める前のうち、

少なくとも1つのタイミングで放電処理することができる。

20

【0020】

適用例5の造形物の製造方法において、放電処理のタイミングが、ペースト層を形成した後、液体材料を塗布する前である場合、目的に応じたガス種を選択し、放電処理を行うことで、ペースト層と液体材料とのぬれ性および浸透性を制御することができる。また、ペースト層と硬化後の液体材料との界面を整えることができる。その結果、造形物の精度や強度を向上させることができる。

【0021】

適用例5の造形物の製造方法において、放電処理のタイミングが、液体材料を塗布した後、液体材料を硬化させる前である場合、放電処理によって発生したラジカルにより液体材料表面に薄い固化膜が形成されるので、液体材料のピンング効果が期待できる。また、液体材料を硬化させた後に形成されるペースト層が均一となりやすい。さらに、前記液体材料が放射線によって硬化する材料である場合には、液体材料表面において酸素による重合阻害を低減することができるため、液体材料の放射線による硬化性が向上する。その結果、造形物の精度や強度を向上させることができる。

30

【0022】

適用例5の造形物の製造方法において、放電処理のタイミングが、液体材料を硬化した後、次の単位層を形成し始める前である場合、液体材料を硬化させた後に形成されるペースト層の塗布性が向上し、膜厚分布が均一となりやすい。また、放電処理によって硬化後の液体材料の積層界面を適度に荒らすことによるアンカー効果や、表面の重合結合の切断後、上層を付与することで、積層される液体材料との反応性を高めることができる。その結果、造形物の精度や強度を向上させることができる。

40

【0023】

[適用例6]

適用例4または適用例5の造形物の製造方法において、

前記液体材料の塗布は、前記液体材料をインクジェット方式で射出することによって行われることができる。

【0024】

適用例6の造形物の製造方法によれば、高速で、高精細な造形物を製造することができる。また、顔料を含有するインクや、弾性のことなるインクを組み合わせることで、造形物にカラーを付与したり、造形物の硬さや質感を調整することが可能となる。

50

## 【 0 0 2 5 】

## [ 適用例 7 ]

適用例 1 の造形物の製造方法において、

インクジェット方式で前記樹脂材料を含有する液体材料を塗布し、前記液体材料にエネルギーを付与して硬化させることによって単位層を形成し、

前記液体材料を塗布した後、前記液体材料を硬化させる前、および、

前記液体材料を硬化した後、次の単位層を形成し始める前のうち、

少なくとも 1 つのタイミングで放電処理することができる。

## 【 0 0 2 6 】

適用例 7 の造形物の製造方法において、放電処理のタイミングが、液体材料を塗布した後、液体材料を硬化させる前である場合、放電処理によって発生したラジカルにより液体材料表面に薄い固化膜が形成されるので、液体材料のピンング効果が期待できる。また、液体材料を硬化させた後に形成されるインク層が均一となりやすい。さらに、前記液体材料が放射線によって硬化する材料である場合には、酸素阻害を低減することができるため、液体材料の放射線による硬化性が向上する。その結果、造形物の精度や強度を向上させることができる。

10

## 【 0 0 2 7 】

適用例 7 の造形物の製造方法において、放電処理のタイミングが、液体材料を硬化した後、次の単位層を形成し始める前である場合、液体材料を硬化させた後に形成されるインク層の塗布性が向上し、膜厚分布が均一となりやすい。また、放電処理によって硬化後の液体材料の積層界面を適度に荒らすことによるアンカー効果や、表面の重合結合の切断後、上層を付与することで、積層される液体材料との反応性を高めることができる。その結果、造形物の精度や強度を向上させることができる。

20

## 【 0 0 2 8 】

## [ 適用例 8 ]

適用例 1 ないし適用例 7 のいずれか一例の造形物の製造方法において、

前記放電処理が不活性ガスを含む雰囲気下で行われることができる。

## 【 0 0 2 9 】

適用例 8 の造形物の製造方法において、用いるガスを放電効率の高いヘリウム、アルゴンを主体とした場合、放電処理の安定化および低温化を図ることができる。その結果、樹脂材料や硬化された単位層への熱ダメージを低減することができる。また、用いるガスを窒素を主体とした場合は、放電処理により表面の重合結合が物理的に切断されるので、積層される樹脂材料の反応性を高めることができる。

30

## 【 0 0 3 0 】

## [ 適用例 9 ]

適用例 1 ないし適用例 7 のいずれか一例の造形物の製造方法において、

前記放電処理が酸素を含む雰囲気下で行われることができる。

## 【 0 0 3 1 】

適用例 9 の造形物の製造方法によれば、単位層の積層界面を適度に荒らすことによる毛管現象や、積層界面にヒドロキシ基を付与することができるため、単位層の積層界面のぬれ広がりを拡大でき、これを制御することで加工精度も向上する。

40

## 【 0 0 3 2 】

## [ 適用例 1 0 ]

適用例 1 ないし適用例 7 のいずれか一例の造形物の製造方法において、

前記放電処理がフッ素を含む雰囲気下で行われることができる。

## 【 0 0 3 3 】

適用例 1 0 の造形物の製造方法によれば、撥液性を付与することができるため、単位層の積層界面のぬれ広がりを縮小でき、これを制御することで加工精度も向上する。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 3 4 】

50

- 【図1】本実施の形態に係る造形物の製造方法の一例を示すフローチャート。
- 【図2】第1の実施形態において使用する三次元造形装置の概略を模式的に示す説明図。
- 【図3】プラズマ照射機構におけるプラズマ発生部の断面を模式的に示す図。
- 【図4】第1の実施形態においてプラズマ照射機構が単位層にプラズマを照射している様子を模式的に示す平面図。
- 【図5】第1の実施形態に係る造形物の製造方法における造形工程の一例を示すフローチャート。
- 【図6】第1の実施形態におけるプラズマ照射工程を模式的に示す説明図。
- 【図7】第1の実施形態における移動工程を模式的に示す説明図。
- 【図8】第2の実施形態において使用する三次元造形装置の概略を模式的に示す説明図。 10
- 【図9】第2の実施形態に係る造形物の製造方法における造形工程の一例を示すフローチャート。
- 【図10】第2の実施形態における材料供給工程を模式的に示す説明図。
- 【図11】第2の実施形態における単位層形成工程を模式的に示す説明図。
- 【図12】第2の実施形態におけるプラズマ照射工程を模式的に示す説明図。
- 【図13】第3の実施形態において使用する三次元造形装置の概略を模式的に示す説明図。
- 【図14】第3の実施形態において使用する三次元造形装置の塗布機構およびエネルギー照射機構を模式的に示す平面図。
- 【図15】第3の実施形態に係る造形物の製造方法における造形工程の一例を示すフローチャート。 20
- 【図16】第3の実施形態における材料供給工程を模式的に示す説明図。
- 【図17】第3の実施形態における単位層形成工程を模式的に示す説明図。
- 【図18】第3の実施形態におけるプラズマ照射工程を模式的に示す説明図。
- 【図19】第3の実施形態における変形例を模式的に示す説明図。
- 【図20】第4の実施形態において使用する三次元造形装置の概略を模式的に示す説明図。
- 【図21】第4の実施形態に係る造形物の製造方法における造形工程の一例を示すフローチャート。
- 【図22】第4の実施形態における材料供給工程を模式的に示す説明図。 30
- 【図23】第4の実施形態における単位層形成工程を模式的に示す説明図。
- 【図24】第4の実施形態におけるプラズマ照射工程を模式的に示す説明図。
- 【図25】第5の実施形態において使用する三次元造形装置の概略を模式的に示す説明図。
- 【図26】第5の実施形態に係る造形物の製造方法における造形工程の一例を示すフローチャート。
- 【図27】第5の実施形態における材料供給工程および単位層形成工程を模式的に示す説明図。
- 【図28】第5の実施形態におけるプラズマ照射工程を模式的に示す説明図。
- 【発明を実施するための形態】 40
- 【0035】
- 以下、本発明の好適な実施形態について、図面を用いて詳細に説明する。なお、以下に説明する実施形態は、特許請求の範囲に記載された本発明の内容を不当に限定するものではない。また、以下で説明される構成の全てが本発明の必須構成要件であるとは限らない。
- 【0036】
- 本明細書において、方向を以下のように定義する。すなわち、互いに直交する3つの空間軸をX軸、Y軸、Z軸とする。鉛直方向はZ軸方向に沿った方向（Z方向）とし、鉛直下向きを-Z方向、鉛直上向きを+Z方向とする。Z軸に垂直な面を、XY平面とする。 50

## 【 0 0 3 7 】

## 1 . 造形物の製造方法

本実施の形態に係る造形物の製造方法は、材料または工程の一部に樹脂材料を利用し、造形物をN個の層に分離した単位層を第1層から第N層まで順番に形成しながら積み重ねることによって造形物を製造する方法であって、前記単位層の形成の過程において、および、前記単位層を形成し終えた後、次の単位層を形成し始める前のうち、少なくとも1つのタイミングで放電処理することを特徴とする。

## 【 0 0 3 8 】

まず、三次元の物体を造形するための基本となる工程について説明する。図1は、本実施の形態に係る造形物の製造方法の一例を示すフローチャートである。本実施の形態に係る造形物の製造方法では、図1に示すように、三次元データ準備工程(S101)と、スライスデータ作成工程(S102)と、造形工程(S103)と、を有している。

10

## 【 0 0 3 9 】

三次元データ準備工程(S101)においては、造形工程(S103)において造形の対象となる造形物の三次元CADデータを準備する。

## 【 0 0 4 0 】

スライスデータ作成工程(S102)においては、準備された三次元CADデータに基づいて、N層分のスライスデータを作成する。スライスデータとは、造形物をXY平面に平行な(N-1)個の面でスライスしたデータである。

## 【 0 0 4 1 】

造形工程(S103)は、造形物を構成する(少なくとも樹脂材料を含む)材料を供給するステップと、当該材料を硬化させるステップと、を含む。つまり、造形工程(S103)では、三次元CADデータから作成されたスライスデータに基づいて、材料の供給と硬化を行って第1層を形成した後、第1層の上に、材料の供給と硬化を行って第2層を形成する。この工程を第N層まで繰り返すことによって造形物が完成する。

20

## 【 0 0 4 2 】

なお、本発明においては、このような第1~第N層の各層のことを「単位層」という。

## 【 0 0 4 3 】

本実施の形態に係る造形物の製造方法では、造形工程(S103)の、各単位層の形成過程において、および、単位層を形成し終えた後、次の単位層を形成し始める前のうち、少なくとも1つのタイミングで放電処理することを特徴としている。この放電処理によって単位層の積層界面の状態を変えることにより、樹脂材料と他の材料との親和性を高めたり、界面の状態を整えたり、樹脂材料の結合性や反応性を高めたりすることが可能となる。その結果、造形物の精度や強度を向上させることができる。

30

## 【 0 0 4 4 】

以下、本発明に係る造形物の製造方法について、具体的な実施形態を示して詳細に説明する。

## 【 0 0 4 5 】

## 1 . 1 . 第1の実施形態

第1の実施形態では、熱溶融積層法を用いた造形物の製造方法について説明する。熱溶融積層法とは、溶融させた樹脂材料を層状に供給して硬化させる工程を繰り返すことによって造形物を製造する方法である。以下、第1の実施形態で使用する樹脂材料、三次元造形装置の構成、第1の実施形態に係る造形物の製造方法の順に説明する。

40

## 【 0 0 4 6 】

## 1 . 1 . 1 . 樹脂材料

使用する樹脂材料としては、熱可塑性樹脂が挙げられる。熱可塑性樹脂としては、例えば、ABS(アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン共重合体)樹脂、PC(ポリカーボネート)樹脂、PC/ABSアロイ、PPSF/PPSU樹脂、ポリエーテルイミド樹脂、およびこれらを改質した樹脂等が挙げられる。

## 【 0 0 4 7 】

50

第1の実施形態において使用される樹脂材料は、どのような形状であってもよいが、樹脂材料の供給しやすさの観点から、ワイヤー状に加工されていることが好ましい。樹脂材料は、たとえばコイルのように巻かれた状態で提供される。

【0048】

1.1.2. 装置構成

図2は、第1の実施形態において使用する三次元造形装置の概略を模式的に示す説明図である。三次元造形装置100は、図2に示すように、三次元物体を造形するためのステージ10と、樹脂材料30を溶融させてステージ10上に射出するノズル20と、を有する。

【0049】

ステージ10は、三次元物体を造形するための作業面である。ステージ10の上面は、XY平面に平行となっている。ステージ10は、Z軸に沿って高さを調整可能に構成されている。

【0050】

ノズル20は、樹脂材料30を溶融させてステージ10上に射出するための開口部（図示せず）を有する。ノズル20は、開口部がステージ10に対して略垂直（+Z方向）となるように設けられる。また、ノズル20には、樹脂材料30を溶融させるための加熱機構（図示せず）が設けられている。この加熱機構によって樹脂材料30をガラス転移温度（ $T_g$ ）以上の温度に加熱することで、樹脂材料30が溶融して所望の流動性を有する樹脂材料30が得られる。これにより、ノズル20から樹脂材料30を供給することが可能となる。

【0051】

ノズル20は、XY平面に沿って移動する。ノズル20を移動させながら樹脂材料30を所定位置に供給することにより、スライスデータに基づいた所望の形状を有する単位層を形成することができる。本実施形態の三次元造形装置100では、ノズル20がXY平面に沿って移動するが、代わりに、ステージ10がXY平面に沿って移動するようにしても良い。

【0052】

ステージ10は、-Z方向に移動する。ステージ10は、単位層を形成し終えた後、次の単位層を形成する前に、-Z方向に単位層の厚さ  $d$ （図7）だけ移動する。これにより、単位層を形成する過程において、ノズル20と造形途中の造形物50とのZ軸方向に対する距離を常に一定とすることができる。本実施形態の三次元造形装置100では、ステージ10が-Z方向に移動するが、代わりに、ノズルが+Z方向に移動しても良い。

【0053】

樹脂材料30は、図示しない供給機構によって、ノズル20へ供給される。供給機構は、上述したワイヤー状に加工された樹脂材料30をノズル20まで供給する機構である。供給機構は、樹脂材料30をノズル20まで供給できればどのようなものであってもよい。例えば、樹脂材料30を回転する駆動ローラーと遊動ローラーで固定して、該駆動ローラーに回転力を印加することによって、樹脂材料30を押し出すような機構とすることができる。

【0054】

三次元造形装置100は、スライスデータに基づいて各機構を制御する制御部40を備える。上述したノズル20、供給機構、及び後述するプラズマ照射機構70は、制御部40によって制御される。制御部40は、供給機構を駆動してノズル20まで樹脂材料30を供給させ、ノズル20をX方向およびY方向に動かしながら、ノズル20で溶融させた樹脂材料30をステージ10上に射出させる。制御部40は、後述する所定のタイミングで、プラズマ照射機構70を駆動して、プラズマを照射させる。制御部40は、単位層が形成された後、次の単位層を形成する前に、ステージ10を-Z方向に単位層の厚さ  $d$ （図7）だけ移動させる。こうした操作を繰り返して、単位層を積層していくことにより、三次元CADデータに対応する造形物を製造することが可能となる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 5 】

さらに、三次元造形装置 1 0 0 は、プラズマ照射機構 7 0 を備える。プラズマ照射機構 7 0 は、単位層の表面にプラズマの照射を行う機構である。プラズマ照射機構 7 0 は、例えば、プラズマを発生させる機構を備えたプラズマ発生部 7 1 ( 図 3 ) と、該プラズマ発生部に供給するガスを貯留するガス貯留部 ( 図示せず ) と、を備える。本実施形態において、プラズマ照射機構 7 0 は、三次元造形装置 1 0 0 に組み込まれているが、三次元造形装置 1 0 0 から独立したプラズマ照射機構を準備しても良い。また、このような独立したプラズマ照射機構を、制御部 4 0 と接続して、制御部 4 0 によって駆動するようにしてもよい。

## 【 0 0 5 6 】

図 3 は、プラズマ照射機構 7 0 におけるプラズマ発生部 7 1 の断面 ( Z X 平面に沿った断面 ) を模式的に示す図である。

## 【 0 0 5 7 】

図 3 に示すように、プラズマ発生部 7 1 は、ガス供給室 7 2 を備える。ガス供給室 7 2 の一方の端部は、ガス供給口 7 7 となっている。ガス供給口 7 7 は、図示しないガス供給管によって、図示しないガス貯留部と接続される。ガス供給室 7 2 の他方の端部には、プラズマ照射ノズル 7 5 が形成される。プラズマ照射ノズル 7 5 は、ステージ 1 0 と対向するように設けられている ( 図 6 参照 ) 。ガス供給室 7 2 には、ガス供給口 7 7 からプラズマ照射ノズル 7 5 に向かってガスが送り込まれる。すなわち、ガス供給室 7 2 内には、上流のガス供給口 7 7 から、下流のプラズマ照射ノズル 7 5 へ向かうガス流が発生する。

## 【 0 0 5 8 】

ガス供給室 7 2 の他方の端部側 ( プラズマ照射ノズル 7 5 に近い位置 ) には、電極対 7 3 が設けられている。電極対 7 3 は、 - X 軸方向側に設けられた第 1 の電極 7 3 a と、 + X 軸方向側に設けられた第 2 の電極 7 3 b と、によって構成されている。電極 7 3 a および電極 7 3 b は、電源 7 4 に接続されている。

## 【 0 0 5 9 】

電源 7 4 によって電極 7 3 a および電極 7 3 b に電圧が印加されると、電極 7 3 a と電極 7 3 b との間 ( 放電部分 D ) に放電が生じる。この状態で、ガス供給室 7 2 にガスを供給して、電極 7 3 a および電極 7 3 b との間にガスを通過させることで、ガスのプラズマが生じる。すなわち、ガスの少なくとも一部がプラズマ化する。このようにして発生したプラズマは、プラズマ照射ノズル 7 5 から単位層の表面に向かって照射される。放電部分 D は、単位層の表面に接触しない。このような、放電部分 D がプラズマを照射する対象物に接触しないようにプラズマが照射される方式は、リモートジェット方式と呼ばれる。一方、放電部分 D がプラズマを照射する対象物に接触する方式は、ダイレクト方式と呼ばれる。本実施形態及び以下に説明するすべての実施形態の造形装置は、いずれもリモートジェット方式のプラズマ照射機構を備えているが、代わりに、ダイレクト方式のプラズマ照射機構を備えても良い。

## 【 0 0 6 0 】

プラズマ照射ノズル 7 5 と形成された単位層との距離は、発生したプラズマを単位層に照射できる範囲にあれば特に限定されないが、例えば 0 . 5 mm 以上 1 0 mm 以下とすることができる。

## 【 0 0 6 1 】

プラズマを発生させる際の電力量としては、供給したガスからプラズマを発生できるのであれば特に限定されるものではないが、例えば、1 0 0 W h 以上 2 0 0 W h 以下とすることができる。

## 【 0 0 6 2 】

プラズマを発生させる際の電源 7 4 の周波数としては、供給したガスからプラズマを発生できるのであれば特に限定されるものではないが、例えば 5 0 k H z 以上、2 . 4 5 G H z 以下である。

## 【 0 0 6 3 】

10

20

30

40

50

ガス供給室 7 2 に供給するガスは、プラズマ処理の目的、すなわち、プラズマの照射によってどのように、あるいはどの程度、表面を改質したいか、に応じて選択される。1 種類のガスからなる単一ガスでもよいし、2 種以上のガスを混合して得られる混合ガスでもよい。このようなガスの材料としては、例えば、酸素 ( $O_2$ )、空気 (少なくとも窒素 ( $N_2$ ) および酸素 ( $O_2$ ) を含む)、水蒸気 ( $H_2O$ )、亜酸化窒素 ( $N_2O$ )、アンモニア ( $NH_3$ )、フッ素原子 (F) を含むガスや、アルゴン (Ar)、ヘリウム (He)、ネオン (Ne)、窒素 ( $N_2$ ) 等の不活性ガス等が挙げられる。

**【0064】**

不活性ガスを利用して、不活性ガスを含む雰囲気下でプラズマ処理を実施すると、プラズマの供給を安定化させたり、プラズマを低温で発生させたりすることが可能となる。その結果、樹脂材料 3 0 への熱ダメージを低減することができる。

10

**【0065】**

酸素を利用して、酸素を含む雰囲気下でプラズマ処理を実施すると、単位層の表面にヒドロキシ基を付与することができる。よって、単位層の表面のぬれ広がりを拡大でき、これを制御することで造形物 5 0 の加工精度を高めることができる。

**【0066】**

フッ素を利用して、フッ素を含む雰囲気下でプラズマ処理を実施すると、単位層の表面に撥液性を付与することができる。よって、単位層の表面のぬれ広がりを縮小でき、これを制御することで造形物 5 0 の加工精度を高めることができる。

**【0067】**

ガス供給室 7 2 に供給されるガスの流量は、ガス供給室 7 2 の容量、ガスの種類、樹脂材料 3 0 の種類、造形速度等に応じて適宜設定することができ、特に制限されるものではない。

20

**【0068】**

さらに、図 3 のプラズマ照射機構 7 0 は、プラズマ照射ノズル 7 5 付近の余剰ガスを吸引して、プラズマ照射ノズル 7 5 から離れた位置で余剰ガスを排出する排気管 7 6 を備えている。図 3 の例では、排気管 7 6 は、ガス供給室 7 2 の - X 軸方向側に、ガス供給室 7 2 に沿って設けられた第 1 の排気管 7 6 a と、ガス供給室 7 2 の + X 軸方向に、ガス供給室 7 2 に沿って設けられた第 2 の排気管 7 6 b と、を備えている。排気管 7 6 の一方の端部には、吸気口 7 8 が設けられており、他方の端部には排気口 7 9 が設けられている。吸気口 7 8 は、プラズマ照射ノズル 7 5 の近傍に設けられ、排気口 7 9 は、プラズマ照射ノズル 7 5 から離れた位置に設けられる。排気管 7 6 によって、余剰ガスを吸引、排出しながらプラズマ照射を行うことで、プラズマ照射ノズル 7 5 から放射されるプラズマ照射範囲を適正化し、所望の範囲を局地的に処理することが可能となる。排気管 7 6 の設置位置は、余剰ガスの吸引と排出を適切に実施できるような位置であればよく、図 3 に記載された位置に限定されるものではない。

30

**【0069】**

図 4 は、造形物 5 0 を造形している途中に、プラズマ照射機構 7 0 が単位層の表面にプラズマを照射する様子を模式的に示す平面図である。プラズマ照射機構 7 0 は、板状電極 7 3 a、7 3 b の間に、Y 軸方向に伸びるライン状のプラズマ照射部 7 5 を有する。プラズマ照射部 7 5 の Y 軸方向の長さは、ステージ 1 0 上で造形される造形物 5 0 の Y 軸方向の全域をカバーできるような長さになっている。また、プラズマ照射機構 7 0 は、プラズマ照射部 7 5 が造形物 5 0 の X 軸方向の全域をカバーできるように、X 軸方向に走査される。図 4 の例では、プラズマ照射機構 7 0 は、Y 軸方向に伸びたプラズマ照射部 7 5 を備え、X 軸方向に走査される。このようなプラズマ照射機構 7 0 の代わりに、X 軸方向に伸びたプラズマ発生部を備え、Y 軸方向に走査されるプラズマ照射機構を利用しても良い。また、図 4 のプラズマ照射機構 7 0 は、1 列のプラズマ照射機構 7 0 を備えているが、プラズマ照射量を増加させるという観点から、複数列のプラズマ照射機構を備えてもよい。また、プラズマ照射機構としては、図 4 に示したようなライン状のプラズマ照射部 7 5 を備え、一方向に走査されるライン型の照射機構と、スポット状のプラズマ照射部を備え、

40

50

X軸方向とY軸方向の二方向に走査されるシリアル型の照射機構と、の2種類が存在する。本実施形態及び以下に説明するすべての実施形態の造形装置は、いずれもライン型のプラズマ照射機構を備えているが、代わりに、シリアル型のプラズマ照射機構を備えても良い。

#### 【0070】

本実施形態の三次元造形装置100において、プラズマ照射機構70は、大気圧下でプラズマを発生させて照射する、いわゆる大気圧プラズマ照射機構である。以下に説明するすべての実施形態の造形装置においても同様である。本実施形態及び以下に説明するすべての実施形態の製造装置において、大気圧プラズマ照射機構に変えて、減圧下や真空下でプラズマを発生させて照射する、いわゆる減圧プラズマ照射機構や、真空プラズマ照射機構を採用しても良い。減圧プラズマ処理は減圧雰囲気下で、真空プラズマ処理は真空雰囲気下で行われる。よって、減圧または真空プラズマ照射機構を採用する場合は、プラズマの照射を行う際に、少なくとも造形途中の造形物50を収容するためのチャンパーと、このチャンパー内を減圧する減圧装置と、を別途設ける必要がある。よって、減圧プラズマ照射機構や、真空プラズマ照射機構を採用した場合は、造形装置が大型化し易い。一方、大気圧プラズマ照射機構を採用すれば、チャンパーや減圧装置を設けることが不要であり、装置の小型化が図れるという利点がある。また、材料の供給、単位層の形成、プラズマの照射といった、造形物を製造するための一連の工程を、1台の製造装置でまとめて実施できるという利点がある。

#### 【0071】

##### 1.1.3. 造形物の製造方法

図5は、第1の実施形態に係る造形物の製造方法における造形工程の一例を示すフローチャートである。図6は、第1の実施形態におけるプラズマ照射工程を模式的に示す説明図である。図7は、第1の実施形態における移動工程を模式的に示す説明図である。

#### 【0072】

第1の実施形態に係る造形物の製造方法は、図1に示すように、三次元データ準備工程(S101)と、スライスデータ作成工程(S102)と、造形工程(S103)と、を有している。三次元データ準備工程(S101)およびスライスデータ作成工程(S102)は、上述した通りなので説明を省略する。

#### 【0073】

造形工程(S103)は、例えば図5に示すように、材料供給ステップ(S111)と、単位層形成ステップ(S112)と、プラズマ照射ステップ(S113)と、次層の有無を判断するステップ(S114)と、移動ステップ(S115)と、を有している。これらのステップを繰り返し実施することによって、造形物を完成させることができる。ステップを繰り返す回数は、スライスデータの数に対応する。

#### 【0074】

材料供給ステップ(S111)においては、溶融された樹脂材料30を、ステージ10に供給する。より詳細に説明すると、まず、ワイヤー状の樹脂材料30をノズル20の上端に供給する。次に、ノズル20の内部に設けられた加熱機構により、樹脂材料30をガラス転移温度(Tg)以上の温度に加熱して溶融する。この溶融された樹脂材料30を、ノズル20の下端にある開口部からステージ10の上面に向かって供給する。ここで「供給」とは、歯磨き粉をチューブから出して歯ブラシの上に置くように、溶融された樹脂材料30をゆっくりとステージ10の上面に置いていくことをいう。

#### 【0075】

単位層形成ステップ(S112)においては、溶融された樹脂材料30によって、単位層を形成する。より詳細に説明すると、ノズル20をXY方向に動かしながら、溶融された樹脂材料30で一筆書きをするような要領で単位層を形成していく。この際、ノズル20は、スライスデータに対応した所望の形状となるように、溶融された樹脂材料30を供給していく。樹脂材料30は、熱可塑性樹脂であるため、ガラス転移温度以下の温度になると自然に固化するが、冷却することによって固化する速度を速めてもよい。このように

することで、単位層が形成される。なお、図2に示すように、このときのZ軸方向におけるステージ10の上面からノズル20の開口部までの距離を $d_1$ とする。

【0076】

プラズマ照射ステップ(S113)においては、図6に示すように、プラズマ照射機構70を用いて、プラズマを照射する。プラズマの照射によって、単位層の表面が改質される。表面改質の効果の詳細については、後述する。

【0077】

次層の有無を判断するステップ(S114)においては、単位層の形成が終了した時点で、次の単位層を形成する必要があるか否かを判断する。次の単位層を形成する必要がない場合には、三次元の造形物が完成する。

【0078】

次の単位層を形成する必要がある場合には、次の移動ステップ(S115)を実行する。移動ステップ(S115)においては、図7に示すように、ステージ10を単位層の厚さの分( $d$ )だけ-Z方向に移動させる。ステージ10を-Z方向に移動させる代わりに、ノズル20を単位層の厚さの分( $d$ )だけ+Z方向に移動させるようにしても良い。移動ステップ(S115)を実行することにより、Z軸方向におけるステージ10の上面からノズル20の開口部までの距離 $d_2$ が $d_1 + d$ となる。これにより、単位層を形成する過程において、ノズル20と造形途中の造形物50とのZ軸方向に対する距離を常に一定とすることができる。

【0079】

また、移動ステップ(S115)において、ノズル20が単位層の厚さの分( $d$ )だけ+Z方向に移動する場合には、プラズマ照射機構70についても単位層の厚さの分( $d$ )だけ+Z方向に移動させる。一方、ステージ10が単位層の厚さの分( $d$ )だけ-Z方向に移動する場合には、プラズマ照射機構70はZ軸方向には移動させない。このようにすることで、単位層を形成する過程において、プラズマ照射機構70と造形途中の造形物50とのZ軸方向に対する距離を常に一定とすることができる。

【0080】

以上説明したように、本実施形態の三次元造形装置は、プラズマ照射機構70を備えている。また、本実施形態の造形方法は、プラズマ照射ステップ(S113)を含んでいる。プラズマ照射機構70によって、単位層の表面にプラズマ処理を施すことによって、単位層の表面の状態や性質を変化させることができる。たとえば、プラズマ処理によって、単位層の表面を適度に荒らすことによるアンカー効果や、単位層の表面の重合結合を切断する効果が得られる。このように、表面が改質された単位層上に、次の単位層を構成する樹脂材料を付与することで、単位層間の界面強度(密着性)が向上する。また、目的に応じたガス種を選択し、放電処理を行うことで、単位層の積層界面のぬれ性を制御することができ、加工精度も向上する。その結果、造形物の精度や強度を向上させることができる。

【0081】

本実施形態において、プラズマ照射ステップ(S113)は、前の単位層を形成し終えた直後(ステップS112の直後)に実施しているが、他のタイミングで実施することも可能である。たとえば、ステップS114とS115の間や、S115とS111の間で実施しても良い。すなわち、プラズマ処理は、前の単位層を形成し終えた後(第 $n$ 層を形成するS112を終えた後)、次の単位層を形成し始める前(第 $n+1$ 層を形成するS111を開始する前)に、実施することができる。また、プラズマ照射ステップ(S113)は、単位層形成の途中(第 $n$ 層を形成するステップS112の途中)に、実施しても良い。プラズマ処理は、前の単位層を形成し終えた後(第 $n$ 層を形成するS112を終えた後)、次の単位層を形成し始める前(第 $n+1$ 層を形成するS111を開始する前)、および、単位層の形成の過程(第 $n$ 層を形成するS112の途中)、のうち、少なくとも1つのタイミングで実施すれば良い。

【0082】

なお、放電処理の一例としてプラズマ処理（プラズマの照射）について説明したが、プラズマ照射機構に代えてコロナ放電機構としてもよい。すなわち、放電処理は、プラズマ処理（プラズマの照射）に限られず、コロナ放電処理であっても良い。コロナ放電機構としては、特開2010-241999号公報、特開2005-235448号公報、特開2003-300029号公報に開示されているコロナ放電機構を使用することができる。具体的には、上述のリモートジェット方式と同様の機構を有しており、たとえばガス流路の中央部と外周辺部とに内外一对の放電電極が配置され、該ガス流路にガスを導入するとともに、一对の放電電極に高電圧を印加することによりコロナ放電を生成し、そのコロナ放電により生成されるガス流を吹き付ける方式等が挙げられる。以下に説明するすべての実施形態においても同様である。

10

#### 【0083】

##### 1.2.第2実施形態

第2の実施形態では、パウダー硬化積層法を用いた造形物の製造方法について説明する。パウダー硬化積層法とは、パウダー状の樹脂を層状に供給して部分的に硬化させる工程を繰り返すことによって造形物を製造する方法である。以下、第2の実施形態で使用する樹脂材料、三次元造形装置の構成、第2の実施形態に係る造形物の製造方法の順に説明する。

#### 【0084】

##### 1.2.1.樹脂材料

使用する樹脂材料としては、公知の材料を用いることができる。このような樹脂材料としては、例えば、ポリカーボネート、ポリスチレン、ポリメチルメタクリレート、環状オレフィン系樹脂、アクリル樹脂、結晶性透明樹脂等が挙げられる。

20

#### 【0085】

第2の実施形態において使用される樹脂材料は、パウダー状であればよい。樹脂材料の体積平均粒子径は、粒子に流動性を持たせる観点から、好ましくは1~200 $\mu\text{m}$ 、より好ましくは5~120 $\mu\text{m}$ 、特に好ましくは10~100 $\mu\text{m}$ である。体積平均粒子径は、日機装株式会社製の型式「マイクロトラックMT3300」を用いて測定することができる。

#### 【0086】

##### 1.2.2.装置構成

図8は、第2の実施形態において使用する三次元造形装置の概略を模式的に示す説明図である。三次元造形装置200は、図8に示すように、三次元物体を造形するための加工部110と、材料となるパウダー状の樹脂材料（以下、「樹脂パウダー」ともいう。）を供給するための供給部120と、を有する。

30

#### 【0087】

加工部110は、図8に示すように、柱状の第1のスペース112と、ステージ113と、を備える。第1のスペース112を幾何学的な柱として捉えた場合、この柱は、XY平面に沿った上面および底面と、Z軸方向に沿った側面と、を有する。第1のスペース112は、+Z方向の端部に、XY平面に平行な開口部111を有する。ステージ113は、三次元物体を造形するための作業面である。ステージ113は、第1のスペース112の-Z方向側に設けられる。ステージ113の上面は、XY平面に平行である。ステージ113は、第1のスペース112内を-Z方向に移動可能に構成されている。

40

#### 【0088】

供給部120は、柱状の第2のスペース122と、ピストン123と、を備える。第2のスペース122を幾何学的な柱として捉えた場合、この柱は、XY平面に沿った上面および底面と、Z軸方向に沿った側面と、を有する。第2のスペース122は、+Z方向の端部に、XY平面に平行な開口部121を有する。ピストン123は、第2のスペース122の-Z方向側に設けられる。ピストン123の上面は、XY平面に平行である。ピストン123は、第2のスペース122内を+Z方向に移動可能に構成されている。材料となる樹脂材料パウダーは、開口部121とピストン123の上面との間に収容される。ピ

50

ストン 1 2 3 は、所定のタイミングで、樹脂パウダーを + Z 方向に押し上げる。押し上げられた樹脂パウダーは、第 2 のスペース 1 2 2 からわずかに + Z 方向に露出する。

【 0 0 8 9 】

三次元造形装置 2 0 0 は、加工部 1 1 0 の第 1 のスペース 1 1 2 の開口部 1 1 1 と供給部 1 2 0 の第 2 のスペース 1 2 2 の開口部 1 2 1 とを接続する接続面 1 3 0 と、樹脂パウダーを供給部 1 2 0 から加工部 1 1 0 へ供給するための供給機構 1 4 0 と、を有する。

【 0 0 9 0 】

接続面 1 3 0 は、加工部 1 1 0 の開口部 1 1 1 と供給部 1 2 0 の開口部 1 2 1 とを接続する面である。接続面 1 3 0 は、X Y 平面に平行に設けられている。接続面 1 3 0 は、材料となる樹脂パウダーを、供給部 1 2 0 から加工部 1 1 0 へ移送するための供給路として機能する。

10

【 0 0 9 1 】

供給機構 1 4 0 は、樹脂パウダーを供給部 1 2 0 から加工部 1 1 0 へ送り込む機構である。供給機構 1 4 0 は、通常、平面視における供給部 1 2 0 から見て接続面 1 3 0 とは反対面 1 3 1 上に設置されている。面 1 3 1 は、X Y 平面に平行に設けられている。本実施形態において、供給機構 1 4 0 は、Y 方向に沿った円柱形状を有するローラーである。ローラーは、接続面 1 3 0 と接触しつつ回転しながら、X Y 平面に平行に移動する。ローラーが供給部 1 2 0 側から加工部 1 1 0 側へ移動することによって、供給部 1 2 0 の第 2 のスペース 1 2 2 から + Z 軸方向に露出した樹脂パウダーが、加工部 1 1 0 の第 1 のスペース 1 1 2 に送り込まれる。ローラーは、樹脂パウダーを加工部 1 1 0 の第 1 のスペース 1 1 2 に送り込んだ後、元の位置に戻る。供給機構 1 4 0 は、樹脂パウダーを供給部 1 2 0 から加工部 1 1 0 へ送り込む機能が備わっていればよいため、たとえばスキーのように回転を伴わないものに置き換えてもよい。

20

【 0 0 9 2 】

三次元造形装置 2 0 0 は、加工部 1 1 0 に送り込まれた樹脂パウダーに選択的にエネルギーを照射するエネルギー照射機構 1 5 0 を有する。

【 0 0 9 3 】

エネルギー照射機構 1 5 0 は、光または熱などのエネルギーを発生させるエネルギー源 1 5 1 と、エネルギー源 1 5 1 から供給されたエネルギーを加工部 1 1 0 の開口部 1 1 1 に向けて照射するミラー 1 5 2 と、を有する。エネルギー源 1 5 1 は、たとえばレーザー、紫外線光源、ヒーターなどによって構成される。ミラー 1 5 2 は、エネルギーの照射角度を調節する機構が設けられており、エネルギーを ± X 方向と ± Y 方向に走査する。ミラー 1 5 2 は、スライスデータに基づいた所望の形状となるようにエネルギーの照射角度が調節されて、樹脂パウダーを部分的に硬化させる。硬化の手段としては、たとえば樹脂パウダーの重合反応を利用する方法や、樹脂パウダーを溶融させた後、冷却して硬化させる方法などが挙げられる。

30

【 0 0 9 4 】

ミラー 1 5 2 は、一方向に走査するラインヘッドや二方向に走査するシリアルヘッドに置き換えてもよい。ラインヘッドやシリアルヘッドは、X Y 平面に沿って移動する。ラインヘッドやシリアルヘッドは、加工部 1 1 0 の開口部 1 1 1 に供給された樹脂パウダーに移動しながらエネルギーを照射する。樹脂パウダーに十分なエネルギーを付与できるのであれば、面照射タイプのエネルギー照射手段を使用してもよい。

40

【 0 0 9 5 】

三次元造形装置 2 0 0 は、スライスデータに基づいて各機構を制御する制御部 1 6 0 を有する。上述した加工部 1 1 0、供給部 1 2 0、供給機構 1 4 0、及び後述するプラズマ照射機構 1 7 0 は、制御部 1 6 0 によって制御される。制御部 1 6 0 は、供給部 1 2 0 のピストン 1 2 3 を所定のタイミングで押し上げて、樹脂パウダーを + Z 方向にわずかに露出させる。また、制御部 1 6 0 は、供給機構 1 4 0 を駆動して、樹脂パウダーを加工部 1 1 0 の第 1 のスペース 1 1 2 に送り込ませる。また、制御部 1 6 0 は、スライスデータに基づいた所望の形状となるように、エネルギー源 1 5 1 から供給されたエネルギーを加工

50

部 1 1 0 の開口部 1 1 1 に向けて照射させる。制御部 1 6 0 は、後述する所定のタイミングで、プラズマ照射機構 1 7 0 を駆動して、プラズマを照射させる。制御部 1 6 0 は、単位層が形成された後、次の単位層を形成する前に、加工部 1 1 0 のステージ 1 1 3 を - Z 軸方向に単位層の厚さの分だけ移動させる。こうした操作を繰り返して、単位層を積層していくことにより、三次元 CAD データに対応する造形物を製造することが可能となる。

#### 【 0 0 9 6 】

さらに、三次元造形装置 2 0 0 は、プラズマ照射機構 1 7 0 を備える。プラズマ照射機構 1 7 0 は、XY 平面に沿って移動しながら単位層の積層界面にプラズマ照射する機構である。プラズマ照射機構 1 7 0 の構造等については、変形例も含め、第 1 の実施形態で説明したプラズマ照射機構 7 0 と同様であるため、説明を省略する。本実施形態において、プラズマ照射機構 1 7 0 は三次元造形装置 2 0 0 に組み込まれているが、三次元造形装置 2 0 0 から独立したプラズマ照射機構を、制御部 1 6 0 と接続して、制御部 1 6 0 によって駆動するようにしてもよい。

10

#### 【 0 0 9 7 】

##### 1 . 2 . 3 . 造形物の製造方法

図 9 は、第 2 の実施形態に係る造形物の製造方法における造形工程の一例を示すフローチャートである。図 1 0 は、第 2 の実施形態における材料供給工程を模式的に示す説明図である。図 1 1 は、第 2 の実施形態における単位層形成工程を模式的に示す説明図である。図 1 2 は、第 2 の実施形態におけるプラズマ照射工程を模式的に示す説明図である。

#### 【 0 0 9 8 】

第 2 の実施形態に係る造形物の製造方法は、図 1 に示すように、三次元データ準備工程 ( S 1 0 1 ) と、スライスデータ作成工程 ( S 1 0 2 ) と、造形工程 ( S 1 0 3 ) と、を有している。三次元データ準備工程 ( S 1 0 1 ) およびスライスデータ作成工程 ( S 1 0 2 ) は、上述した通りなので説明を省略する。

20

#### 【 0 0 9 9 】

造形工程 ( S 1 0 3 ) は、例えば図 9 に示すように、材料供給ステップ ( S 1 2 1 ) と、単位層形成ステップ ( S 1 2 2 ) と、プラズマ照射ステップ ( S 1 2 3 ) と、次層の有無を判断するステップ ( S 1 2 4 ) と、移動ステップ ( S 1 2 5 ) と、を有している。これらのステップを繰り返し実施することによって、造形物を完成させることができる。ステップを繰り返す回数は、スライスデータの数に対応する。

30

#### 【 0 1 0 0 】

材料供給ステップ ( S 1 2 1 ) においては、樹脂材料 ( 樹脂パウダー 1 8 0 ) をステージ 1 1 3 に供給する。まず、図 1 0 に示すように、供給部 1 2 0 のピストン 1 2 3 を + Z 方向に上昇させる。すると、開口部 1 2 1 から樹脂パウダー 1 8 0 が露出する。この開口部 1 2 1 から露出した樹脂パウダー 1 8 0 を、供給機構 1 4 0 を駆動させて押し出すようにして加工部 1 1 0 へ移送する。第 1 層目を形成するとき、加工部 1 1 0 のステージ 1 1 3 は、接続面 1 3 0 よりもわずかに - Z 方向側の位置にある。よって、加工部 1 1 0 のステージ 1 1 3 上に、樹脂パウダーが所定の厚さで堆積する。

#### 【 0 1 0 1 】

単位層形成ステップ ( S 1 2 2 ) においては、樹脂材料 ( 樹脂パウダー 1 8 0 ) にエネルギーを照射することによって、単位層を形成する。具体的には、図 1 1 に示すように、ミラー 1 5 2 によってエネルギーの照射角度を調節しながら、ステージ 1 1 3 上に堆積した樹脂パウダー 1 8 0 の層に向かって選択的にエネルギーを照射する。このようにして、樹脂パウダー 1 8 0 の一部が硬化することにより、単位層が形成される。

40

#### 【 0 1 0 2 】

プラズマ照射ステップ ( S 1 2 3 ) においては、図 1 2 に示すように、プラズマ照射機構 1 7 0 を用いて、単位層を形成し終了後 ( 第 n 層を形成する S 1 2 2 を終了後 ) 、プラズマ照射する。プラズマ照射ステップ ( S 1 2 3 ) によって、単位層の積層界面を適度に荒らすことによるアンカー効果や、表面の重合結合の切断後、上層を付与することで、単位層間の界面強度 ( 密着性 ) が向上する。その結果、造形物の強度を向上させること

50

ができる。本実施形態では、プラズマ照射ステップ(S 1 2 3)は、前の単位層を形成し終えた直後(ステップS 1 2 2の直後)に実施しているが、他のタイミングで実施することも可能である。たとえば、ステップS 1 2 4とS 1 2 5の間や、S 1 2 5とS 1 2 1の間で実施しても良い。すなわち、プラズマ処理は、単位層を形成し終えた後(第n層を形成するS 1 2 2を終えた後)、次の単位層を形成し始める前(第n + 1層を形成するS 1 2 1を開始する前)のタイミングで実施すれば良い。

#### 【0103】

次層の有無を判断するステップ(S 1 2 4)においては、単位層の形成が終了した時点で、次の単位層を形成する必要があるか否かを判断する。次の単位層を形成する必要がない場合には、三次元の造形物が完成する。

10

#### 【0104】

次の単位層を形成する必要がある場合には、次の移動ステップ(S 1 2 5)を実行する。移動ステップ(S 1 2 5)においては、ステージ1 1 3を単位層の厚さの分だけ-Z方向に移動させる。ステージ1 1 3を-Z方向に移動させた後、次の材料供給ステップ(S 1 2 1)を実行して樹脂パウダー1 8 0を供給すると、前回の材料供給ステップ(S 1 2 1)によってステージ1 1 3上に堆積した樹脂パウダー層の上、および、前回の単位層形成ステップ(S 1 2 2)によって形成された単位層の上に、樹脂パウダーが所定の厚さで堆積される。この樹脂パウダーに対して、単位層形成ステップ(S 1 2 2)を実行することで、次の単位層が形成される。

20

#### 【0105】

第2の実施形態では、プラズマ照射機構1 7 0はZ軸方向には移動させない。このようにすることで、単位層を形成する過程において、プラズマ照射機構1 7 0と造形途中の造形物とのZ軸方向に対する距離を常に一定とすることができる。

#### 【0106】

以上説明したように、本実施形態の三次元造形装置2 0 0は、プラズマ照射機構1 7 0を備えている。また、本実施形態の造形方法は、プラズマ照射ステップ(S 1 2 3)を含んでいる。プラズマ照射機構1 7 0によって、単位層の表面にプラズマ処理を施すことによって、単位層の表面の状態や性質を変化させることができる。たとえば、プラズマ処理によって、単位層の表面を適度に荒らすことによるアンカー効果や、単位層の表面の重合結合を切断する効果が得られる。このように、表面が改質された単位層上に、次の単位層を構成する樹脂材料を付与することで、単位層間の界面強度(密着性)が向上する。また、目的に応じたガス種を選択し、放電処理を行うことで、単位層の積層界面のぬれ性を制御することができ、加工精度も向上する。その結果、造形物の精度や強度を向上させることができる。

30

#### 【0107】

##### 1.3.第3実施形態

第3の実施形態では、パウダー固着積層法を用いた造形物の製造方法について説明する。パウダー固着積層法とは、石膏、セラミック、澱粉、金属などのパウダー状の基材を層状に供給した後、これらの基材同士を結着させる液体材料(結着剤ともいう)を部分的に塗布し、該液体材料にエネルギーを付与して硬化させる工程を繰り返すことによって造形物を製造する方法である。液体材料は、樹脂材料である。以下、第3の実施形態で使用する原材料、三次元造形装置の構成、第3の実施形態に係る造形物の製造方法、変形例の順に説明する。

40

#### 【0108】

##### 1.3.1.原材料

使用する基材としては、公知のものを用いることができ、たとえば石膏、セラミック、金属などのパウダーを用いることができる。基材となるパウダーの体積平均粒子径は、粒子に流動性を持たせる観点から、好ましくは1~200μm、より好ましくは5~120μm、特に好ましくは10~100μmである。体積平均粒子径は、日機装株式会社製の型式「マイクロトラックMT3300」を用いて測定することができる。

50

## 【0109】

結着剤としては、パウダー状の基材を結着させることができる液状のものであれば特に制限されないが、紫外光によって重合が開始する硬化液が好適である。また、空気中の水分（あるいは酸素など）に触れると速やかに重合を開始する硬化液などの液体材料を使用することもできる。

## 【0110】

## 1.3.2. 装置構成

図13は、第3の実施形態において使用する三次元造形装置の概略を模式的に示す説明図である。図14は、第3の実施形態において使用する三次元造形装置の塗布機構およびエネルギー照射機構を模式的に示す平面図である。三次元造形装置300は、図13に示すように、三次元物体を造形するための加工部210と、材料となるパウダー状の基材（以下、単に「基材」ともいう。）を供給するための供給部220と、を有する。

10

## 【0111】

加工部210は、図13に示すように、柱状の第1のスペース212と、ステージ213と、を備える。第1のスペース212を幾何学的な柱として捉えた場合、この柱は、XY平面に沿った上面および底面と、Z軸方向に沿った側面と、を有する。第1のスペース212は、+Z方向の端部に、XY平面に平行な開口部211を有する。ステージ213は、三次元物体を造形するための作業面である。ステージ213は、第1のスペース212の-Z方向側に設けられる。ステージ213の上面は、XY平面に平行である。ステージ213は、第1のスペース212内を、-Z方向に移動可能に構成されている。

20

## 【0112】

供給部220は、柱状の第2のスペース222と、ピストン223と、を備える。第2のスペース222を幾何学的な柱として捉えた場合、この柱は、XY平面に沿った上面および底面と、Z軸方向に沿った側面と、を有する。第2のスペース222は、+Z方向の端部に、XY平面に平行な開口部221を有する。ピストン223は、第2のスペース222の-Z軸方向側に設けられる。ピストン223の上面は、XY平面に平行である。ピストン223は、第2のスペース222内を、+Z方向に移動可能に構成されている。材料となる基材は、開口部221とピストン223の上面との間に収容される。ピストン223は、所定のタイミングで、基材を+Z方向に押し上げる。押し上げられた基材は、第2のスペース222からわずかに+Z方向に露出する。

30

## 【0113】

三次元製造装置300は、加工部210の第1のスペース212の開口部211と供給部220の第2のスペース222の開口部221とを接続する接続面230と、基材を供給部220から加工部210へ供給するための供給機構240と、を有する。

## 【0114】

接続面230は、加工部210の第1のスペース212の開口部211と供給部220の第2のスペース222の開口部221とを接続する面である。接続面230は、XY平面に平行に設けられている。接続面230は、材料となる基材を、供給部220から加工部210へ移送するための供給路として機能する。

## 【0115】

供給機構240は、供給部220から加工部210へ基材を送り込む機構である。供給機構240は、通常、平面視における供給部220から見て接続面230とは反対面231上に設置されている。面231は、XY平面に平行に設けられている。本実施形態において、供給機構240は、Y方向に沿った円柱形状を有するローラーである。ローラーは、接続面230と接触しつつ回転しながら、XY平面に平行に移動する。ローラーが供給部220側から加工部210側へ移動することによって、供給部220の第2のスペース222から+Z軸方向に露出した基材が、加工部210の第1のスペース212に送り込まれる。ローラーは、基材を加工部210の第1のスペース212に送り込んだ後、元の位置に戻る。供給機構240は、供給部220から加工部210へ基材を送り込む機能が備わっていればよいため、たとえばスキーのように回転を伴わないものに置き換えて

40

50

もよい。

【0116】

三次元造形装置300は、加工部210に送り込まれた基材に選択的に結着剤（液体材料）を塗布するための塗布機構250と、塗布された結着剤にエネルギーを照射するエネルギー照射機構252と、を有する。

【0117】

塗布機構250は、加工部210に送り込まれた基材に選択的に結着剤を塗布するための機構である。塗布機構250は、XY平面に沿って移動する。塗布機構250は、加工部210の開口部211に供給された基材に対して、移動しながら選択的に結着剤を塗布する。塗布機構250は、たとえばインクジェットヘッドによって構成することが可能である。

10

【0118】

エネルギー照射機構252は、塗布機構250によって塗布された結着剤にエネルギーを照射して硬化させる機構である。エネルギー照射機構252は、XY平面に沿って移動する。エネルギー照射機構252は、紫外線などの光源や、ヒーターなどの熱源によって構成される。硬化の手段としては、たとえば樹脂材料の重合反応を利用する方法などが挙げられる。エネルギー照射機構252は、X方向およびY方向のいずれか一方向に走査するラインヘッドでもよいし、X方向およびY方向の二方向に走査するシリアルヘッドでもよい。結着剤に十分なエネルギーを付与できるのであれば、面照射タイプのエネルギー照射手段を使用してもよい。なお、図13の例では、塗布機構250とエネルギー照射機構252とを一体化したものが記載されているが、塗布機構250とエネルギー照射機構252とを一体化せずに別々の構成としても構わない。

20

【0119】

図14は、第3の実施形態において使用する三次元造形装置の塗布機構およびエネルギー照射機構を模式的に示す平面図である。図13の例では、塗布機構250とエネルギー照射機構252とが一体化されているが、図14に示すようにY方向に沿ったラインヘッドとなっており、塗布機構250およびエネルギー照射機構252がY方向に列をなしてそれぞれ配置されている。塗布機構250は、-X側に設けられている。塗布機構250は、結着剤を塗布するためのノズルがY方向に列をなして複数設けられている。エネルギー照射機構252は、+X側に設けられている。エネルギー照射機構252は、エネルギーを照射するための光源（たとえばLED）や熱源を照射する手段がY方向に列をなして複数設けられている。

30

【0120】

三次元造形装置300は、スライスデータに基づいて各機構を制御する制御部260を有する。上述した加工部210、供給部220、供給機構240、塗布機構250、エネルギー照射機構252、及び後述するプラズマ照射機構270は、制御部260によって制御される。制御部260は、供給部220のピストン223を所定のタイミングで押し上げて、基材を+Z方向にわずかに露出させる。また、制御部260は、供給機構240を駆動して、基材を加工部210の第1のスペース212に送り込ませる。また、制御部260は、スライスデータに基づいた所望の形状となるように塗布機構250から結着剤を塗布させ、エネルギー照射機構252からエネルギーを加工部210の開口部211に向けて照射させる。制御部260は、後述する所定のタイミングで、プラズマ照射機構270を駆動して、プラズマを照射させる。制御部260は、単位層が形成された後、次の単位層を形成する前に、ステージ213を-Z軸方向に単位層の厚さの分だけ移動させる。こうした操作を繰り返して、単位層を積層していくことにより、三次元CADデータに対応する造形物を製造することが可能となる。

40

【0121】

さらに、三次元造形装置300は、プラズマ照射機構270を備える。プラズマ照射機構270は、XY平面に沿って移動しながら結着剤の表面や単位層の積層界面にプラズマ照射する機構である。プラズマ照射機構270の構造等については、変形例も含め、第1

50

の実施形態で説明したプラズマ照射機構 70 と同様であるため、説明を省略する。本実施形態において、プラズマ照射機構 270 は三次元造形装置 300 に組み込まれているが、三次元造形装置 300 から独立したプラズマ照射機構を、制御部 260 と接続して、制御部 260 によって駆動するようにしてもよい。

#### 【0122】

##### 1.3.3. 造形物の製造方法

図 15 は、第 3 の実施形態に係る造形物の製造方法における造形工程の一例を示すフローチャートである。図 16 は、第 3 の実施形態における材料供給工程を模式的に示す説明図である。図 17 は、第 3 の実施形態における単位層形成工程を模式的に示す説明図である。図 18 は、第 3 の実施形態におけるプラズマ照射工程を模式的に示す説明図である。

10

#### 【0123】

第 3 の実施形態に係る造形物の製造方法は、図 1 に示すように、三次元データ準備工程 (S101) と、スライスデータ作成工程 (S102) と、造形工程 (S103) と、を有している。三次元データ準備工程 (S101) およびスライスデータ作成工程 (S102) は、上述した通りなので説明を省略する。

#### 【0124】

造形工程 (S103) は、例えば図 15 に示すように、材料供給ステップ (S131) と、結着剤塗布ステップ (S132) と、プラズマ照射ステップ (S133) と、エネルギー照射ステップ (S134) と、次層の有無を判断するステップ (S135) と、移動ステップ (S136) と、を有している。これらのステップを繰り返し実施することによって、造形物を完成させることができる。ステップを繰り返す回数は、スライスデータの数に対応する。

20

#### 【0125】

材料供給ステップ (S131) においては、基材 280 をステージ 213 に供給する。図 16 に示すように、供給部 220 のピストン 223 を +Z 方向に上昇させると、開口部 221 から基材 280 が露出する。この開口部 221 から露出した基材 280 を、供給機構 240 を駆動させて押し出すようにして加工部 210 へ移送する。第 1 層目を形成するとき、加工部 210 のステージ 213 は、接続面 230 よりもわずかに -Z 方向側の位置にある。よって、加工部 210 のステージ 213 上に、基材が所定の厚さで堆積する。

30

#### 【0126】

結着剤 (樹脂材料) 塗布ステップ (S132) においては、ステージ 213 上に供給された基材 280 に対して選択的に結着剤 (樹脂材料) を塗布する。具体的には、図 17 に示すように、塗布機構 250 を XY 平面に沿って動かしながら、ステージ 213 上に堆積した基材 280 の層に向かって選択的に結着剤を塗布する。エネルギー照射ステップ (S134) においては、図 16 に示すように、結着剤を塗布した後、エネルギー照射機構 252 によってエネルギーを照射する。このようにして、結着剤が硬化することにより、単位層が形成される。

#### 【0127】

プラズマ照射ステップ (S133) においては、図 18 に示すように、プラズマ照射機構 270 を用いて、プラズマ照射する。プラズマの照射は、以下のタイミング A 及び B のうち、少なくとも 1 つのタイミングで実施すれば良い。

40

A: 単位層を形成し終えた後 (第 n 層を形成する S134 を終えた後)、次の単位層を形成し始める前 (第 n+1 層を形成する S131 を開始する前) のタイミング (図 15 のステップ S133A)

B: 単位層を形成している途中において、結着剤塗布ステップ (S132) の後、エネルギー照射ステップ (S134) の前のタイミング (図 15 のステップステップ S133B)

#### 【0128】

図 18 には、上記 A のタイミング (図 15 のステップ S133A) でプラズマ照射を実施する場合のプラズマ照射工程を示している。

50

## 【0129】

上記Aのタイミングでプラズマ照射ステップ(S133A)を実施することによって、単位層の積層界面を適度に荒らすことによるアンカー効果や、表面の重合結合の切断後、上層を付与することで、単位層間の界面強度(密着性)が向上する。また、プラズマ照射ステップ(S133A)において、目的に応じたガス種を選択し、放電処理を行うことで、単位層の積層界面のぬれ性を制御することができ、加工精度も向上する。図15において、ステップS133Aは、前の単位層を形成し終えた直後(ステップS134の直後)に実施しているが、他のタイミングで実施することも可能である。たとえば、ステップS135とS136の間や、S136とS131の間で実施しても良い。

## 【0130】

プラズマの照射は、上記Bのタイミング(図15のステップステップS133B)で実施しても良い。図19には、プラズマの照射を、上記Bのタイミング(図15のステップS133B)で実施する場合の、結着剤の塗布工程(図15のステップS132)、プラズマ照射工程(図15のステップS133B)、およびエネルギーの照射工程(図15のステップS134)を示している。なお、図19では、三次元造形装置300Aの一部のみを示している。図19に示した三次元造形装置300Aは、塗布機構250とエネルギー照射機構252とが別々に構成されている点で、図13等に示した三次元造形装置300と異なっている。それ以外の点においては、三次元造形装置300と同じである。

## 【0131】

上記Bのタイミングでプラズマ照射ステップ(S133B)を実施することによって、放電処理によって発生したラジカルにより液体材料表面に薄い固化膜が形成されるので、液体材料のピニング効果が期待できる。また、液体材料を硬化させた後に形成されるペースト層が均一となりやすい。さらに、結着剤が放射線によって硬化する材料である場合には、結着剤を塗布した後、この結着剤を硬化させる前に放電処理を行うことで、結着剤表面において酸素による重合阻害を低減することができるため、結着剤の放射線による硬化性が向上する。その結果、造形物の精度や強度を向上させることができる。

## 【0132】

次層の有無を判断するステップ(S135)においては、単位層の形成が終了した時点で、次の単位層を形成する必要があるか否かを判断する。次の単位層を形成する必要がない場合には、三次元の造形物が完成する。

## 【0133】

次の単位層を形成する必要がある場合には、次の移動ステップ(S136)を実行する。移動ステップ(S136)においては、ステージ213を単位層の厚さの分だけ-Z方向に移動させる。ステージ213を-Z方向に移動させた後、次の材料供給ステップ(S131)を実行して基材280を供給すると、前回の材料供給ステップ(S131)によってステージ213上に堆積した基材層の上、および、前回の単位層形成ステップによって形成された単位層の上に、基材280が所定の厚さで堆積する。この基材に対して、S132~S134を実行することで、次の単位層が形成される。

## 【0134】

第3の実施形態では、プラズマ照射機構270はZ軸方向には移動させない。このようにすることで、単位層を形成する過程において、プラズマ照射機構270と造形途中の造形物とのZ軸方向に対する距離を常に一定とすることができる。

## 【0135】

以上説明したように、本実施形態の三次元製造装置300は、プラズマ照射機構270を備えている。また、本実施形態の造形方法は、プラズマ照射ステップS133(S133A及びS133B)を含んでいる。プラズマ照射機構270によって、上記Aのタイミング(S142A)、上記Bのタイミング(S142B)で放電処理を実施することで、それぞれ上述したような効果を得ることができる。

## 【0136】

単位層を形成し終えた後(第n層を形成するS134を終えた後)、次の単位層を形成

10

20

30

40

50

し始める前（第  $n + 1$  層を形成する S 1 3 1 を開始する前）のタイミングでプラズマ照射ステップ（S 1 3 3 A）を実施することによって、単位層の積層界面を適度に荒らすことによるアンカー効果や、表面の重合結合の切断後、上層を付与することで、単位層間の界面強度（密着性）が向上する。また、プラズマ照射ステップ（S 1 3 3）において、目的に応じたガス種を選択し、放電処理を行うことで、単位層の積層界面のぬれ性を制御することができ、加工精度も向上する。その結果、造形物の精度や強度を向上させることができる。

#### 【0137】

結着剤塗布ステップ（S 1 3 2）の後、エネルギー照射ステップ（S 1 3 4）の前のタイミングでプラズマ照射ステップ（S 1 3 3 B）を実施することによって、放電処理によって発生したラジカルにより液体材料表面に薄い固化膜が形成されるので、液体材料のピンニング効果が期待できる。また、液体材料を硬化させた後に形成されるペースト層が均一となりやすい。さらに、結着剤が放射線によって硬化する材料である場合には、結着剤を塗布した後、この結着剤を硬化させる前に放電処理を行うことで、結着剤表面において酸素による重合阻害を低減することができるため、結着剤の放射線による硬化性が向上する。その結果、造形物の精度や強度を向上させることができる。

#### 【0138】

##### 1.3.4. 第3の実施形態の変形例

図13等に示した三次元造形装置300では、塗布機構250とエネルギー照射機構252とが一体化されていたが、それぞれを別々に構成しても良い。また、塗布機構250とエネルギー照射機構252とプラズマ照射機構270とをすべて一体化しても良い。また、図19に示した三次元造形装置では、塗布機構250Aとエネルギー照射機構252Aとプラズマ照射機構270Aとを別々に構成していたが、塗布機構250とプラズマ照射機構270とを一体化したり、プラズマ照射機構270とエネルギー照射機構252とを一体化したり、すべてを一体化したりしても良い。また、これらの機構を構成するヘッドは、X方向およびY方向のいずれか一方方向に走査するラインヘッドでもよいし、X方向およびY方向の二方向に走査するシリアルヘッドでもよい。

#### 【0139】

##### 1.4. 第4の実施形態

第4の実施形態では、ペースト法を用いた造形物の製造方法について説明する。ペースト法とは、造形物の主要構成材料となるパウダー状の基材が飛散しないように、該基材を両親媒性固体ポリマーなどと混合してペースト状にして供給した後、ペースト内の基材同士を結着させる液体材料（結着剤ともいう）を部分的に塗布し、該液体材料にエネルギーを付与して硬化させる工程を繰り返すことによって造形物を製造する方法である。ペーストは樹脂材料を含む。結着剤は樹脂材料である。以下、第4の実施形態で使用する原材料、三次元造形装置の構成、第4の実施形態に係る造形物の製造方法の順に説明する。

#### 【0140】

##### 1.4.1. 原材料

使用するパウダー状の基材としては、公知のものを用いることができ、たとえばアクリル樹脂粉末、シリコン樹脂粉末、アクリルシリコン樹脂粉末、ポリエチレン樹脂粉末、ポリエチレンアクリル酸共重合樹脂粉末、澱粉等の有機粒子；石膏、セラミック、金属、シリカ等の無機粒子を用いることができる。これらの有機粒子および無機粒子は、真球状のものでもよいし、多孔質であってもよい。

#### 【0141】

粘性を付与するための両親媒性ポリマーとしては、ポリビニルアルコール、カルボキシメチルセルロースナトリウム、ポリアクリル酸ナトリウム、カラギーナン、キサンタンガム等が挙げられる。

#### 【0142】

基材、両親媒性ポリマー、水系媒体、必要に応じて消泡剤などの添加剤をニーダー等の混練機で混練することにより造形用のペーストを調製することができる。

## 【0143】

ペーストを結着させる液体材料としては、ペーストを硬化させることができる液状のものであれば特に制限されないが、紫外光によって重合が開始する硬化液が好適である。また、空気中の水分（あるいは酸素など）に触れると速やかに重合を開始する硬化液などの液体材料を使用することもできる。

## 【0144】

## 1.4.2. 装置構成

図20は、第4の実施形態において使用する三次元造形装置の概略を模式的に示す説明図である。三次元造形装置400は、図20に示すように、三次元物体を造形するための加工部310と、材料となるペーストを加工部310に供給するための供給機構320を有する。

10

## 【0145】

加工部310は、図20に示すように、柱状のスペース312と、ステージ313と、を備える。スペース312を幾何学的な柱として捉えた場合、この柱は、XY平面に沿った上面および底面と、Z軸方向に沿った側面と、を有する。スペース312は、+Z方向の端部に、XY平面に平行な開口部311を有する。ステージ313は、三次元物体を造形するための作業面である。ステージ313は、スペース312の-Z方向側に設けられる。ステージ313の上面は、XY平面に平行である。ステージ313は、スペース312内を、-Z方向に移動可能に構成されている。

20

## 【0146】

供給機構320は、材料となるペーストを加工部310に供給するためのノズル322と、ペースト貯留部324と、を備える。ノズル322は、ステージ313に対して略垂直(+Z方向)に設けられている。また、供給機構320には、ステージ313上に塗布されたペーストの厚みを平坦化する平坦化機構323を設けてもよい。平坦化機構323は、ノズル322の先端に設けられたスキージーによって構成されている。平坦化機構323は、ノズル322の-X方向側に設けられている。後に説明する図22に示すように、ペーストは、供給機構320を+X方向に移動させながら、ノズル322から加工部310上に送り出される。平坦化機構323は、供給機構320の移動に伴って、加工部310上に出されたペーストの表面をなでながら移動する。平坦化機構323がペーストの表面をなでながら移動することによって、ペーストの厚みが平坦化される。平坦化機構323は、ローラーによって構成されてもよい。平坦化機構323は、ノズル322とは別に設けてもよい。

30

## 【0147】

また、供給機構320の移動と平坦化機構323によって、ステージ313上に厚みが均一なペースト層を形成する代わりに、ステージ313を回転させながらその中心にペーストを供給するスピコート法を利用しても良い。

## 【0148】

三次元造形装置400は、加工部310に送り込まれたペーストに選択的に液体材料を塗布するための塗布機構330と、塗布された液体材料にエネルギーを照射するエネルギー照射機構340とを有する。

40

## 【0149】

塗布機構330は、加工部310に送り込まれたペースト層に選択的に液体材料を塗布するための機構である。塗布機構330は、XY平面に沿って移動する。塗布機構330は、加工部310の開口部311に供給されたペースト層に対して、移動しながら選択的に液体材料を塗布する。塗布機構330は、たとえばインクジェットヘッドによって構成することが可能である。

## 【0150】

エネルギー照射機構340は、塗布機構330によって塗布された結着剤にエネルギーを照射して硬化させる機構である。エネルギー照射機構340は、XY平面に沿って移動する。エネルギー照射機構340は、紫外線などの光源や、ヒーターなどの熱源によって

50

構成される。硬化の手段としては、たとえば樹脂材料の重合反応を利用する方法などが挙げられる。図20の例では、塗布機構330とエネルギー照射機構340とを一体化したものが記載されているが、塗布機構330とエネルギー照射機構340とを一体化せずに別々の構成としても構わない。

#### 【0151】

三次元造形装置400は、スライスデータに基づいて各機構を制御する制御部350を有する。上述した供給機構320、加工部310、塗布機構330、エネルギー照射機構340、及び後述するプラズマ照射機構360は、制御部350によって制御される。制御部350は、供給機構320を駆動させてペーストをステージ313上に供給させる。また、制御部350は、スライスデータに基づいた所望の形状となるように塗布機構330から液体材料を塗布させ、エネルギー照射機構340からエネルギーを加工部310の開口部311に向けて照射させる。制御部350は、後述する所定のタイミングで、プラズマ照射機構360を駆動して、プラズマを照射させる。制御部350は、単位層が形成された後、次の単位層を形成する前に、ステージ313を-Z方向に単位層の厚さの分だけ移動させる。こうした操作を繰り返して、単位層を積層していくことにより、三次元CADデータに対応する造形物を製造することが可能となる。

10

#### 【0152】

さらに、三次元造形装置400は、プラズマ照射機構360を備える。プラズマ照射機構360は、XY平面に沿って移動しながら、ペースト層の表面、液体材料の表面、または単位層の積層界面に、プラズマ照射する機構である。プラズマ照射機構360の構造等については、変形例も含め、第1の実施形態で説明したプラズマ照射機構70と同様であるため、説明を省略する。本実施形態において、プラズマ照射機構360は三次元造形装置400に組み込まれているが、三次元造形装置400から独立したプラズマ照射機構を、制御部350と接続して、制御部350によってこれを駆動するようにしてもよい。

20

#### 【0153】

##### 1.4.3. 造形物の製造方法

図21は、第4の実施形態に係る造形物の製造方法における造形工程の一例を示すフローチャートである。図22は、第4の実施形態における材料供給工程を模式的に示す説明図である。図23は、第4の実施形態における単位層形成工程を模式的に示す説明図である。図24は、第4の実施形態におけるプラズマ照射工程を模式的に示す説明図である。

30

#### 【0154】

第4の実施形態に係る造形物の製造方法は、図1に示すように、三次元データ準備工程(S101)と、スライスデータ作成工程(S102)と、造形工程(S103)と、を有している。三次元データ準備工程(S101)およびスライスデータ作成工程(S102)は、上述した通りなので説明を省略する。

#### 【0155】

造形工程(S103)は、例えば図21に示すように、材料供給ステップ(S141)と、プラズマ照射ステップ(S142)と、液体材料塗布ステップ(S143)と、エネルギー照射ステップ(S144)と、次層の有無を判断するステップ(S145)と、移動ステップ(S146)と、洗浄ステップ(S147)と、を有している。これらのステップを繰り返し実施することによって、造形物を完成させることができる。ステップを繰り返す回数は、スライスデータの数に対応する。

40

#### 【0156】

材料供給ステップ(S141)においては、図22に示すように、ノズル322の先端からステージ313の上面に向かってペースト370を供給する。ここで、「供給」とは、ノズル322を+X方向に動かしながら、歯磨き粉をチューブから出して歯ブラシの上に置くように、ペースト370をゆっくりとステージ313の上面に置いていくことをいう。本実施形態において、供給機構320は、Y方向に延びるライン型のノズル322を備えており、このノズル322を+X方向に動かしながらペースト370を供給することによって、XY平面上に四角形のペースト層を形成している。ノズル322は、シリアル

50

型であっても良い。シリアル型のノズルの場合は、ノズルを + X 方向と + Y 方向に動かしながら、一筆書きをするような要領でノズル 3 2 2 の先端からペースト 3 7 0 を供給する。また、材料供給ステップ ( S 1 4 1 ) において、平坦化機構 3 2 3 は、供給機構 3 2 0 の移動に伴って、加工部 3 1 0 上に出されたペーストの表面をなでながら移動する。平坦化機構 3 2 3 は、ペーストの表面をなでながら移動することによって、ペーストの厚みを平坦化する。本実施形態では、ペースト 3 7 0 を供給しながらペースト層の平坦化を行っているが、ペースト 3 7 0 をステージ 3 1 3 上に供給し終えた後に、ペースト層の平坦化を実施しても良い。

#### 【 0 1 5 7 】

液体材料塗布ステップ ( S 1 4 3 ) においては、ステージ 3 1 3 上に供給されたペースト 3 7 0 に対して選択的に液体材料を塗布する。具体的には、図 2 3 に示すように、塗布機構 3 3 0 を X Y 平面に沿って動かしながら、ステージ 3 1 3 上に堆積したペースト 3 7 0 の層に向かって選択的に液体材料を塗布する。エネルギー照射ステップ ( S 1 4 4 ) においては、図 2 3 に示すように、液体材料を塗布した後、エネルギー照射機構 3 4 0 によってエネルギーを照射する。このようにして、液体材料が硬化することにより、単位層が形成される。

10

#### 【 0 1 5 8 】

プラズマ照射ステップ ( S 1 4 2 ) においては、図 2 4 に示すように、プラズマ照射機構 3 6 0 を用いて、プラズマ照射する。プラズマの照射は、以下のタイミング A ~ C のうち、少なくとも 1 つのタイミングで実施すれば良い。

20

A : 単位層を形成し終えた後 ( 第 n 層を形成する S 1 4 4 を終えた後 ) 、次の単位層を形成し始める前 ( 第 n + 1 層を形成する S 1 4 1 を開始する前 ) のタイミング ( 図 2 1 のステップ S 1 4 2 A )

B : 単位層を形成している途中において、液体材料塗布ステップ ( S 1 4 2 ) の後、エネルギー照射ステップ ( S 1 4 4 ) の前のタイミング ( 図 2 1 のステップ S 1 4 2 B )

C : 単位層を形成し始める前において、材料供給ステップ ( S 1 4 1 ) の後、液体材料塗布ステップ ( S 1 4 2 ) の前のタイミング ( 図 2 1 のステップ S 1 4 2 C )

#### 【 0 1 5 9 】

なお、図 2 4 には、上記 A のタイミングでプラズマの照射を実施する場合のプラズマ照射工程を示している。

30

#### 【 0 1 6 0 】

上記 A のタイミングでプラズマ照射ステップ ( S 1 4 3 A ) を実施することによって、単位層の積層界面を適度に荒らすことによるアンカー効果や、表面の重合結合の切断後、上層を付与することで、単位層間の界面強度 ( 密着性 ) が向上する。また、プラズマ照射ステップ A ) において、目的に応じたガス種を選択し、放電処理を行うことで、単位層界面のぬれ性を制御することができ、加工精度が向上する。図 2 1 において、ステップ S 1 4 3 A は、前の単位層を形成し終えた直後 ( ステップ S 1 4 4 の直後 ) に実施しているが、他のタイミングで実施することも可能である。たとえば、ステップ S 1 4 5 と S 1 4 6 の間や、S 1 4 6 と S 1 4 1 の間で実施しても良い。

#### 【 0 1 6 1 】

40

上記 B のタイミングでプラズマ照射ステップ ( S 1 4 3 B ) を実施することによって、プラズマ処理によって発生したラジカルにより液体材料表面に薄い固化膜が形成されるので、液体材料のピンング効果が期待できる。また、液体材料を硬化させた後に形成されるペースト層が均一となりやすい。さらに、液体材料が放射線によって硬化する材料である場合には、液体材料表面において酸素による重合阻害を低減することができるため、液体材料の放射線による硬化性が向上する。その結果、造形物の精度や強度を向上させることができる。

#### 【 0 1 6 2 】

上記 C のタイミングでプラズマ照射ステップ ( S 1 4 3 C ) を実施する際に、目的に応じたガス種を選択し、放電処理を行うことで、ペースト層と液体材料とのぬれ性および浸

50

透性を制御することができる。また、ペースト層と硬化後の液体材料との界面を整えることができる。その結果、造形物の精度や強度を向上させることができる。

【0163】

次層の有無を判断するステップ(S145)においては、単位層の形成が終了した時点で、次の単位層を形成する必要があるか否かを判断する。

【0164】

次の単位層を形成する必要がある場合には、次の移動ステップ(S146)を実行する。移動ステップ(S146)においては、ステージ313を単位層の厚さの分(d)だけ-Z方向に移動させる。ステージ313を-Z方向に移動させる代わりに、ノズル322を単位層の厚さの分(d)だけ+Z方向に移動させるようにしても良い。移動ステップ(S146)を実行することにより、単位層を形成する過程において、ノズル322と造形途中の造形物とのZ軸方向に対する距離を常に一定とすることができる。

10

【0165】

また、移動ステップ(S146)において、ノズル322が単位層の厚さの分(d)だけ+Z方向に移動する場合には、プラズマ照射機構360についても単位層の厚さの分(d)だけ+Z方向に移動させる。一方、ステージ313が単位層の厚さの分(d)だけ-Z方向に移動する場合には、プラズマ照射機構360はZ軸方向には移動させない。このようにすることで、単位層を形成する過程において、プラズマ照射機構360と造形途中の造形物とのZ軸方向に対する距離を常に一定とすることができる。

20

【0166】

次の単位層を形成する必要がない場合には、洗浄ステップS147を実施する。洗浄ステップ(S147)においては、結着剤によって固められなかったペーストを洗い流す。洗浄ステップ(S147)は、たとえば水洗によって行うことができる。これにより、目的とする造形物が得られる。

【0167】

以上説明したように、本実施形態の三次元造形装置400は、プラズマ照射機構360を備えている。また、本実施形態の製造方法は、プラズマ照射ステップS142(S142A, S142B, S142C)を含んでいる。プラズマ照射機構360によって、上記Aのタイミング(S142A)、上記Bのタイミング(S142B)、上記Cのタイミング(S142C)で放電処理を実施することによって、それぞれ上述したような効果を得ることができる。

30

【0168】

図20等に示した三次元造形装置400では、塗布機構330とエネルギー照射機構340とが一体化されていたが、それぞれを別々に構成しても良い。また、塗布機構330とエネルギー照射機構340とプラズマ照射機構360とをすべて一体化しても良い。また、塗布機構330とプラズマ照射機構360とを一体化したり、プラズマ照射機構360とエネルギー照射機構340とを一体化したりしても良い。また、これらの機構を構成するヘッドは、X方向およびY方向のいずれか一方向に走査するラインヘッドでもよいし、X方向およびY方向の二方向に走査するシリアルヘッドでもよい。エネルギー照射機構340に関しては、液体材料に十分なエネルギーを付与できるのであれば、面照射タイプのエネルギー照射手段を使用してもよい。

40

【0169】

1.5. 第5の実施形態

第5の実施形態では、インクジェット法を用いた造形物の製造方法について説明する。インクジェット法とは、光や熱などのエネルギーによって硬化する樹脂材料を含むインクを、インクジェットヘッドからステージ上に所定の形状となるように吐出し、これを硬化させる工程を積み重ねることによって造形物を製造する方法である。以下、第5の実施形態で使用するインク、三次元造形装置の構成、第5の実施形態に係る造形物の製造方法の順に説明する。

【0170】

50

### 1.5.1. インク

使用するインクとしては、光や熱などのエネルギーによって硬化する公知の樹脂材料を含むインクを用いることができる。具体的には、単官能エチレン性不飽和単量体や多官能エチレン性不飽和単量体などの重合性化合物と、重合開始剤と、を少なくとも含み、必要に応じて重合禁止剤、界面活性剤、着色剤（顔料等）、酸化防止剤、連鎖移動剤、充填剤（金属粉、シリカ等）等を含むインクが挙げられる。

#### 【0171】

### 1.5.2. 装置構成

図25は、第5の実施形態において使用する三次元造形装置の概略を模式的に示す説明図である。三次元造形装置500は、図25に示すように、三次元物体を造形するためのステージ410を有する。

10

#### 【0172】

ステージ410は、図25に示すように、三次元物体を造形するための作業面である。ステージ410の上面は、XY平面に平行である。ステージ410は、-Z方向に移動可能に構成されている。

#### 【0173】

三次元造形装置500は、インクをステージ410上に射出するインクジェットヘッド420と、射出されたインクにエネルギーを照射するエネルギー照射機構430を有する。

#### 【0174】

インクジェットヘッド420は、ステージ410上の所定の位置にインクを射出する。インクジェットヘッド420のノズルからインクを射出させる方式としては、以下のものが挙げられる。すなわち、ノズルとノズルの前方に置いた加速電極の間に強電界を印加し、ノズルから液滴状のインクを連続的に吐出させ、インクの液滴が偏向電極間を飛翔する間に記録情報信号を偏向電極に与えて記録する方式又はインクの液滴を偏向することなく記録情報信号に対応して吐出させる方式（静電吸引方式）、小型ポンプでインクに圧力を加え、ノズルを水晶振動子等で機械的に振動させることにより、強制的にインクの液滴を吐出させる方式、インクに圧電素子で圧力と記録情報信号を同時に加え、インクの液滴を吐出・記録させる方式（ピエゾ方式）、インクを記録情報信号にしたがって微小電極で加熱発泡させ、インクの液滴を吐出・記録させる方式（サーマルジェット方式）等が挙げられる。インクは、スライスデータに対応した形状で、ステージ410上に供給される。

20

30

#### 【0175】

インクをスライスデータに対応した形状に供給するために、インクジェットヘッド420とステージ410は、次のいずれかの態様で構成される。

(1) インクジェットヘッド420は、X方向およびY方向の両方に移動可能に構成する。ステージ410は、X方向およびY方向において固定された構成とする。

(2) インクジェットヘッド420は、X方向に移動可能で、Y方向において固定された構成とする。ステージ410は、Y方向に移動可能で、X方向において固定された構成とする。

(3) ステージ410は、X方向およびY方向の両方に移動可能に構成する。インクジェットヘッド420は、X方向およびY方向において固定された構成とする。

40

(4) インクジェットヘッド420は、X方向の全体をカバー可能なライン状のヘッドを利用する。このライン状のヘッドをY方向に移動可能に構成する。ステージ410は、X方向およびY方向において固定された構成とする。

(5) インクジェットヘッド420は、X方向の全体をカバー可能なライン状のヘッドを利用する。このライン状のヘッドは、X方向およびY方向において固定された構成とする。ステージ410は、Y方向に移動可能に構成する。

#### 【0176】

本実施形態の三次元造形装置500は、上記(1)の構成を採用している。

#### 【0177】

50

インクジェットヘッド 420 には、ステージ 410 上に射出されたインク層の厚みを平坦化する平坦化機構を一体的に設けてもよい。この平坦化機構は、インクジェットヘッド 420 とは別途設けてもよい。平坦化機構としては、たとえばスキージーのようなワイピング機能を有するものが挙げられる。なお、ステージ 410 上に射出されたインク層の厚みの均一性が高い場合には、平坦化機構を設ける必要はない。

#### 【0178】

エネルギー照射機構 430 は、射出されたインクにエネルギーを照射して硬化させる機構である。エネルギー照射機構 430 は、XY 平面に沿って移動する。エネルギー照射機構 430 は、紫外線などの光源や、ヒーターなどの熱源によって構成される。硬化の手段としては、たとえば樹脂材料の重合反応を利用する方法などが挙げられる。なお、図 25 の例では、インクジェットヘッド 420 とエネルギー照射機構 430 とを一体化したものが記載されているが、塗布機構 420 とエネルギー照射機構 430 とを一体化せずに別々の構成としても構わない。

10

#### 【0179】

三次元造形装置 500 は、スライスデータに基づいて各機構を制御する制御部 440 を有する。上述したステージ 410、インクジェットヘッド 420、エネルギー照射機構 430、及び後述するプラズマ照射機構 450 は、制御部 440 によって制御される。制御部 440 は、スライスデータに基づいた所望の形状となるようにインクジェットヘッド 420 を駆動させてインクをステージ 410 上に射出させる。また、制御部 440 は、エネルギー照射機構 430 からエネルギーをステージ 410 上のインク層に向けて照射させる。制御部 440 は、後述する所定のタイミングで、プラズマ照射機構 450 を駆動して、プラズマを照射させる。制御部 440 は、単位層が形成された後、次の単位層を形成する前に、ステージ 410 を -Z 方向に単位層の厚さの分だけ移動させる。こうした操作を繰り返し、単位層を積層していくことにより、三次元 CAD データに対応する造形物を製造することが可能となる。

20

#### 【0180】

さらに、三次元造形装置 500 は、プラズマ照射機構 450 を備える。プラズマ照射機構 450 は、XY 平面に沿って移動しながら、インクの表面や、単位層の積層界面に、プラズマを照射する機構である。プラズマ照射機構 450 の構造等については、変形例も含め、第 1 の実施形態で説明したプラズマ照射機構 70 と同様であるため、説明を省略する。本実施形態において、プラズマ照射機構 450 は三次元造形装置 500 に組み込まれているが、三次元造形装置 500 から独立したプラズマ照射機構を、制御部 440 と接続して、制御部 440 によってこれを駆動するようにしてもよい。

30

#### 【0181】

##### 1.5.3. 造形物の製造方法

図 26 は、第 5 の実施形態に係る造形物の製造方法における造形工程の一例を示すフローチャートである。図 27 は、第 5 の実施形態における材料供給工程および単位層形成工程を模式的に示す説明図である。図 28 は、第 5 の実施形態におけるプラズマ照射工程を模式的に示す説明図である。

40

#### 【0182】

第 5 の実施形態に係る造形物の製造方法は、図 1 に示すように、三次元データ準備工程 (S101) と、スライスデータ作成工程 (S102) と、造形工程 (S103) と、を有している。三次元データ準備工程 (S101) およびスライスデータ作成工程 (S102) は、上述した通りなので説明を省略する。

#### 【0183】

造形工程 (S103) は、例えば図 26 に示すように、インク塗布ステップ (S151) と、プラズマ照射ステップ (S152) と、エネルギー照射ステップ (S153) と、次層の有無を判断するステップ (S154) と、移動ステップ (S155) と、を有している。これらのステップを繰り返し実施することによって、造形物を完成させることができる。ステップを繰り返す回数は、スライスデータの数に対応する。

50

## 【0184】

まず、インク塗布ステップ(S151)においては、図27に示すように、インクジェットヘッド420からステージ410の上面に向かってインクを射出する。具体的には、インクジェットヘッド420をXY平面に沿って動かしながら、インクをスライスデータに対応した形状に射出する。

## 【0185】

エネルギー照射ステップ(S153)においては、図27に示すように、インクを射出した後、エネルギー照射機構430によってエネルギーを照射する。このようにして、インク層が硬化することにより、単位層が形成される。本実施形態において、エネルギー照射機構430が一体的に設けられたインクジェットヘッド420は、シリアル型のヘッド420であり、X方向とY方向に移動しながら単位層を形成する。ヘッド420は、X方向またはY方向のうち一方のみに移動しながら単位層を形成するライン型のヘッドであっても良い。

10

## 【0186】

プラズマ照射ステップ(S152)においては、図28に示すように、プラズマ照射機構450を用いて、プラズマ照射する。プラズマの照射は、単位層を形成し終えた後(第n層を形成するS153を終えた後)、次の単位層を形成し始める前(第n+1層を形成するS151を開始する前)のタイミング(図26のステップS152A)、および、単位層を形成している途中において、インク塗布ステップ(S151)の後、エネルギー照射ステップ(S153)の前のタイミング(図26のステップS152B)、のうち、少なくとも1つのタイミングで実施すれば良い。なお、図28には、単位層を形成し終えた後(第n層を形成するS153を終えた後)、次の単位層を形成し始める前(第n+1層を形成するS151を開始する前)のタイミング(図26のステップS152A)でプラズマの照射を実施する場合のプラズマ照射工程を示している。

20

## 【0187】

単位層を形成し終えた後(第n層を形成するS153を終えた後)、次の単位層を形成し始める前(第n+1層を形成するS151を開始する前)のタイミング(図26のステップS152A)でプラズマの照射を実施することによって、インク層を硬化させた後、その上に形成されるインク層が均一となりやすい。また、プラズマ照射によって硬化後のインク層の積層界面を適度に荒らすことによるアンカー効果や、表面の重合結合の切断後、上層を付与することで、単位層間の界面強度(密着性)が向上する。また、プラズマ照射ステップ143A)において、目的に応じたガス種を選択し、放電処理を行うことで、単位層界面の濡れ性を制御することができ、加工精度が向上する。その結果、造形物の精度や強度を向上させることができる。図26において、ステップS152Aは、前の単位層を形成し終えた直後(ステップS153の直後)に実施しているが、他のタイミングで実施することも可能である。たとえば、ステップS154とS155の間や、S155とS151の間で実施しても良い。

30

## 【0188】

単位層を形成している途中において、インク塗布ステップ(S151)の後、エネルギー照射ステップ(S153)の前のタイミング(図26のステップS152B)でプラズマの照射を実施することによって、プラズマ照射によって発生したラジカルによりインク層表面に薄い固化膜が形成されるので、インクのピニング効果が期待できる。また、インクを硬化させた後に形成されるインク層が均一となりやすい。さらに、インクが放射線によって硬化する材料である場合には、酸素阻害を低減することができるため、放射線による硬化性が向上する。その結果、造形物の精度や強度を向上させることができる。

40

## 【0189】

次層の有無を判断するステップ(S154)においては、単位層の形成が終了した時点で、次の単位層を形成する必要があるか否かを判断する。次の単位層を形成する必要がない場合には、三次元の造形物が完成する。

## 【0190】

50

次の単位層を形成する必要がある場合には、次の移動ステップ（S155）を実行する。移動ステップ（S155）においては、ステージ410を単位層の厚さの分（ $d$ ）だけ-Z方向に移動させる。ステージ410を-Z方向に移動させる代わりに、インクジェットヘッド420を単位層の厚さの分（ $d$ ）だけ+Z方向に移動させるようにしても良い。移動ステップ（S155）を実行することにより、単位層を形成する過程において、インクジェットヘッド420と造形途中の造形物とのZ軸方向に対する距離を常に一定とすることができる。

#### 【0191】

また、移動ステップ（S155）において、インクジェットヘッド420が単位層の厚さの分（ $d$ ）だけ+Z方向に移動する場合には、プラズマ照射機構450についても単位層の厚さの分（ $d$ ）だけ+Z方向に移動させる。一方、ステージ410が単位層の厚さの分（ $d$ ）だけ-Z方向に移動する場合には、プラズマ照射機構450はZ軸方向には移動させない。このようにすることで、単位層を形成する過程において、プラズマ照射機構450と造形途中の造形物とのZ軸方向に対する距離を常に一定とすることができる。

10

#### 【0192】

以上説明したように、本実施形態の三次元造形装置500は、プラズマ照射機構450を備えている。また、本実施形態の製造方法は、プラズマ照射ステップS152（S152A，S152B）を含んでいる。プラズマ照射機構450によって、上記のようなタイミング（S152A，S152B）で放電処理を実施することによって、それぞれ上述したような効果を得ることができる。

20

#### 【0193】

図25等にした三次元造形装置500では、エネルギー照射機構430がインクジェットヘッド420に一体的に設けられていたが、それぞれを別々に構成しても良い。また、エネルギー照射機構430に加え、プラズマ照射機構450をインクジェットヘッド420に一体的に設けても良い。また、エネルギー照射機構430とプラズマ照射機構450とを一体化したり、プラズマ照射機構450とインクジェットヘッド420とを一体化したりしても良い。また、これらの機構は、X方向およびY方向のいずれか一方向に走査するライン型でもよいし、X方向およびY方向の二方向に走査するシリアル型でもよい。エネルギー照射機構430に関しては、インクに十分なエネルギーを付与できるのであれば、面照射タイプのエネルギー照射手段を使用してもよい。

30

#### 【0194】

##### 1.5.4. 変形例

上述した第5の実施形態の、インク塗布ステップ（S151）において、単位層を形成するためのインクに加え、サポート層を形成するためのインクを射出するようにしてもよい。

#### 【0195】

上層を構成する単位層と、下層を構成する単位層の形状が異なっており、上層を構成する単位層の一部に下層によって支持されない部分がある場合には、そのような部分をサポート層によって支持する必要がある。このような場合には、インク塗布ステップ（S151）において、インクジェットヘッド420から、単位層を形成するためのインクと、サポート層を形成するためのインクとを射出して、単位層およびサポート層を形成すれば良い。

40

#### 【0196】

サポート層を形成するためのサポート材としては、光や熱などのエネルギーによって硬化する公知の樹脂材料を含むインクを用いることができるが、水や特定の溶媒への溶解性に優れたインクであることが好ましい。サポート層は、造形物が完成した後は不要となるため、水や特定の溶媒（造形物を構成する材料は溶かすことができず、サポート層を構成する材料のみを溶かすことができる溶媒）で洗浄することによって、簡単に除去できる材料が好ましい。

50

## 【0197】

## 2. 実施例

以下、本発明を実施例に基づいて具体的に説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

## 【0198】

## 2.1. 実施例1～4、比較例1～2

実施例1～4、比較例1～2では、熱溶融積層法により三次元の造形物を製造した。具体的には、まず、下記の熱可塑性樹脂をノズルの上端に供給し、ノズルの内部に設けられた加熱機構により加熱して熱可塑性樹脂を溶融した。この溶融された熱可塑性樹脂を、ノズルからステージの上面に向かって供給して単位層を形成した。次いで、下記の放電装置を用いて、単位層を形成し終えた後、次の単位層を形成し始める前のタイミングで下記の条件で放電処理した。こうした操作を繰り返すことによって、三次元の造形物を製造した。得られた造形物の引っ張り強度および曲げ強度について評価した。その結果を表1に併せて示した。

## 【0199】

<三次元造形装置>

・Lunavast Prusa V2

<熱可塑性樹脂>

・ABS(アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン)樹脂

・PC(ポリカーボネート)樹脂

<放電装置および放電処理条件>

・コロナタイプ;春日電機株式会社製、型式「エアープラズマAPW602f」、出力:1.5kVA、処理(走査)速度:3cm/s、照射距離:10mm

・プラズマタイプ;図3に示すリモートジェット式プラズマ発生装置、ガス種:酸素、ガス流量:30L/min、照射距離:2.5mm、照射時間:0.8秒、電力量:100Wh、周波数:13.56MHz

<評価方法>

・引っ張り強度;ASTM D638に準じて評価した。

・曲げ強度;ASTM D638に準じて評価した。

## 【0200】

## 【表1】

|             | 実施例1   | 実施例2   | 実施例3    | 実施例4    | 比較例1 | 比較例2 |
|-------------|--------|--------|---------|---------|------|------|
| 熱可塑性樹脂      | ABS    | PC     | ABS     | PC      | ABS  | PC   |
| 放電処理        | コロナタイプ | コロナタイプ | プラズマタイプ | プラズマタイプ | なし   | なし   |
| 引っ張り強度(MPa) | 47.3   | 71.9   | 48.1    | 73.5    | 34.2 | 63.5 |
| 曲げ強度(MPa)   | 66.2   | 61.4   | 66.9    | 62.1    | 51.9 | 53.1 |

## 【0201】

以上の結果から、放電処理を行って製造された造形物は、放電処理を行わずに製造された造形物に比べて、引っ張り強度および曲げ強度の両方において強度が優れていることが判明した。

## 【0202】

## 2.2. 実施例5～7、比較例3

実施例5～7、比較例3では、ペースト法により三次元の造形物を製造した。具体的には、まず、下記のようにして造形用スラリーおよび液体材料を調製した。造形用スラリー供給機構から造形用スラリーをステージ上に塗布してペースト層を形成した。次いで、ペースト層の上に、インクジェットノズルから所定の位置に液体材料(クリアインク)を射出した。キャリアッジの横に搭載した紫外線照射装置内のUV-LEDから、照射強度が1W/cm<sup>2</sup>であり且つピーク波長が395nmである紫外線を照射して単位層を形成した

。次いで、下記の放電装置を用いて、単位層を形成し終えた後、次の単位層を形成し始める前のタイミングで下記の条件で放電処理した。こうした操作を繰り返すことによって、三次元の造形物を製造した。得られた造形物の引っ張り強度および曲げ強度について評価した。その結果を表2に併せて示した。

### 【0203】

#### <三次元造形装置>

・造形用スラリー供給機構およびピエゾ型インクジェットノズルを備えたインクジェット記録装置

#### <造形用スラリー>

アクリルシリコーン樹脂粉末（日信化学工業株式会社製、商品名「シャリーヌR-170S」、粒径30 $\mu$ m）7質量部、ポリビニルアルコール（日本酢酸ビ・ポパール株式会社製、商品名「ポパール」P-05）、重合度：500、鹸化度：87.0～89.0）0.22質量部、消泡剤（DIC株式会社製、商品名「メガファックF-477」）0.66質量部、イオン交換水3.1質量部を混練することにより、造形用スラリーを調製した。

10

#### <液体材料>

##### ・クリアインク

アクリル酸2-(2-ビニロキシエトキシ)エチル（日本触媒株式会社製、商品名「VEEA」）20質量部、フェノキシエチルアクリレート（大阪有機化学株式会社製、商品名「ビスコート#192」）35質量部、ジプロピレングリコールジアクリレート（新中村化学工業株式会社製、商品名「NKエステルAPG-100」）34.6質量部、IRGACURE 819（BASF社製、商品名、重合開始剤）4質量部、DAROCURE TPO（BASF社製、商品名、重合開始剤）4質量部、KAYACURE DETX-S（日本化薬株式会社製、商品名、重合開始剤）2質量部、ヒドロキノンモノメチルエーテル（関東化学株式会社製、重合禁止剤）0.2質量部、BYK-UV3500（BYK社製、シリコーン系界面活性剤）0.2質量部を添加し、これを高速水冷式攪拌機で攪拌することにより、クリアインクを調製した。

20

##### ・シアンインク

アクリル酸2-(2-ビニロキシエトキシ)エチル（日本触媒株式会社製、商品名「VEEA」）20質量部、フェノキシエチルアクリレート（大阪有機化学株式会社製、商品名「ビスコート#192」）35質量部、ジプロピレングリコールジアクリレート（新中村化学工業株式会社製、商品名「NKエステルAPG-100」）31.6質量部、IRGACURE 819（BASF社製、商品名、重合開始剤）4質量部、DAROCURE TPO（BASF社製、商品名、重合開始剤）4質量部、KAYACURE DETX-S（日本化薬株式会社製、商品名、重合開始剤）2質量部、ヒドロキノンモノメチルエーテル（関東化学株式会社製、重合禁止剤）0.2質量部、BYK-UV3500（BYK社製、シリコーン系界面活性剤）0.2質量部、C.I.ピグメントブルー15:3（DIC株式会社製、フタロシアニンブルー）3質量部を添加し、これを高速水冷式攪拌機で攪拌することにより、シアン色のインクを調製した。

30

#### <放電装置および放電処理条件>

40

・コロナタイプ；春日電機株式会社製、型式「エアープラズマAPW602f」、出力：1.5kVA、処理（走査）速度：3cm/s、照射距離：10mm

・プラズマタイプA；図3に示すリモートジェット式プラズマ発生装置、ガス種：酸素、ガス流量：30L/min、照射距離：2.5mm、照射時間：0.8秒、電力量：100Wh、周波数：13.56MHz

・プラズマタイプB；図3に示すリモートジェット式プラズマ発生装置、ガス種：窒素、ガス流量：30L/min、照射距離：2.5mm、照射時間：0.8秒、電力量：100Wh、周波数：13.56MHz

#### <評価方法>

・引っ張り強度；ASTM D638に準じて評価した。

50

・曲げ強度；ASTM D638に準じて評価した。

【0204】

【表2】

|             | 実施例5   | 実施例6     | 実施例7     | 比較例3 |
|-------------|--------|----------|----------|------|
| 放電処理        | コロナタイプ | プラズマタイプA | プラズマタイプB | なし   |
| 引っ張り強度(MPa) | 48.1   | 49.9     | 46.8     | 39.2 |
| 曲げ強度(MPa)   | 33.5   | 34.2     | 32.9     | 21.5 |

10

【0205】

以上の結果から、放電処理を行って製造された造形物は、放電処理を行わずに製造された造形物に比べて、引っ張り強度および曲げ強度の両方において強度が優れていることが判明した。

【0206】

2.3. 実施例8～10、比較例4

実施例8～10、比較例4では、上記と同様にしてペースト法を用いて造形物を製造した。放電処理のタイミングがペースト層を形成した後、液体材料を射出する前とし、2cm角の立方体を製造した以外は、上記「実施例5～7、比較例3」と同様にして造形物を製造した。また、得られた2cm角の立方体の上面および側面の表面から深さ100μmの範囲に、4ポイント文字をシアンインクにて印刷した。4ポイント文字の視認性の評価基準は以下の通りである。その結果を表3に併せて示した。

20

【0207】

< 4ポイント文字の視認性の評価基準 >

- 1：文字がはっきり確認できる。
- 2：文字が確認できるものの、滲みあり。
- 3：文字が確認できない。

【0208】

【表3】

|             | 実施例8   | 実施例9     | 実施例10    | 比較例4 |
|-------------|--------|----------|----------|------|
| 放電処理        | コロナタイプ | プラズマタイプA | プラズマタイプB | なし   |
| 引っ張り強度(MPa) | 41.2   | 44.6     | 40.1     | 39.2 |
| 曲げ強度(MPa)   | 28.3   | 29.4     | 27.3     | 21.5 |
| 4ポイント文字の視認性 | 2      | 2        | 1        | 3    |

30

【0209】

以上の結果から、放電処理を行って製造された造形物は、放電処理を行わずに製造された造形物に比べて、引っ張り強度および曲げ強度の両方において強度が優れていることが判明した。また、放電処理を行って製造された造形物は、4ポイント文字の視認性が良好であることから、精密に加工できていることが判明した。

40

【0210】

本発明は、前述した実施形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば、本発明は、実施形態で説明した構成と実質的に同一の構成（例えば、機能、方法及び結果が同一の構成、あるいは目的及び効果が同一の構成）を含む。また、本発明は、実施形態で説明した構成の本質的でない部分を置き換えた構成を含む。また、本発明は、実施形態で説明した構成と同一の作用効果を奏する構成又は同一の目的を達成することができる構成を含む。また、本発明は、実施形態で説明した構成に公知技術を付加した構成を含む。

50

【符号の説明】

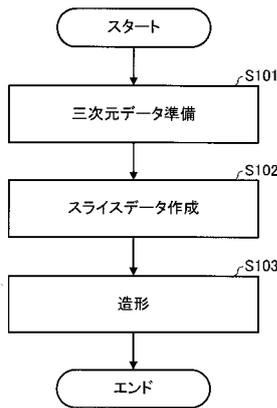
【0211】

10 ... ステージ、20 ... ノズル、30 ... 樹脂材料、40 ... 制御部、50 ... 造形物、70 ... プラズマ照射機構、71 ... プラズマ発生部、72 ... ガス供給室、73 ... 電極対、73a, 73b ... 電極、74 ... 電源、75 ... プラズマ照射ノズル、76 (76a, 76b) ... 排気管、77 ... ガス供給口、78 ... 吸気口、79 ... 排気口、100 ... 三次元造形装置、110 ... 加工部、111 ... 開口部、112 ... 第1のスペース、113 ... ステージ、120 ... 供給部、121 ... 開口部、122 ... 第2のスペース、123 ... ピストン、130 ... 接続面、131 ... 反対面、140 ... 供給機構、150 ... エネルギー照射機構、151 ... エネルギー源、152 ... ミラー、160 ... 制御部、170 ... プラズマ照射機構、180 ... 樹脂パウダー、200 ... 三次元造形装置、210 ... 加工部、211 ... 開口部、212 ... 第1のスペース、213 ... ステージ、220 ... 供給部、221 ... 開口部、222 ... 第2のスペース、230 ... 接続面、231 ... 反対面、240 ... 供給機構、250, 250A ... 塗布機構、252, 252A ... エネルギー照射機構、260 ... 制御部、270 ... プラズマ照射機構、280 ... 基材、300, 300A ... 三次元造形装置、310 ... 加工部、311 ... 開口部、312 ... スペース、313 ... ステージ、320 ... 供給機構、322 ... ノズル、323 ... 平坦化機構、324 ... ペースト貯留部、330 ... 塗布機構、340 ... エネルギー照射機構、350 ... 制御部、360 ... プラズマ照射機構、370 ... ペースト、400 ... 三次元造形装置、410 ... ステージ、420 ... インクジェットヘッド、430 ... エネルギー照射機構、440 ... 制御部、450 ... プラズマ照射機構、500 ... 三次元造形装置、D ... 放電部分

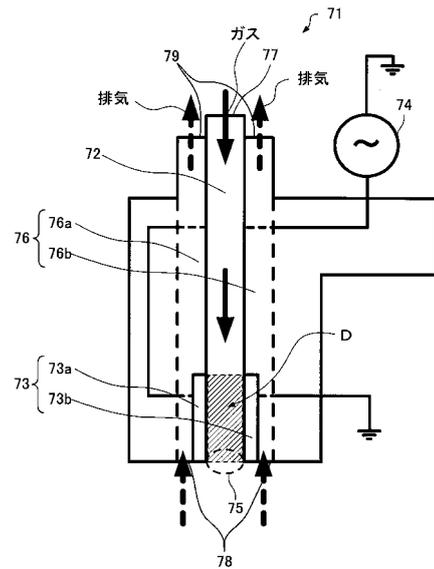
10

20

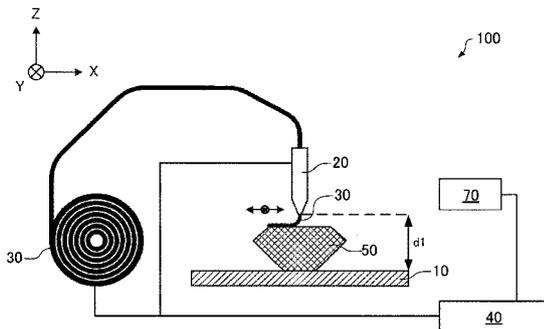
【図1】



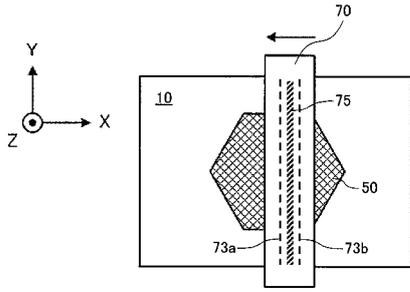
【図3】



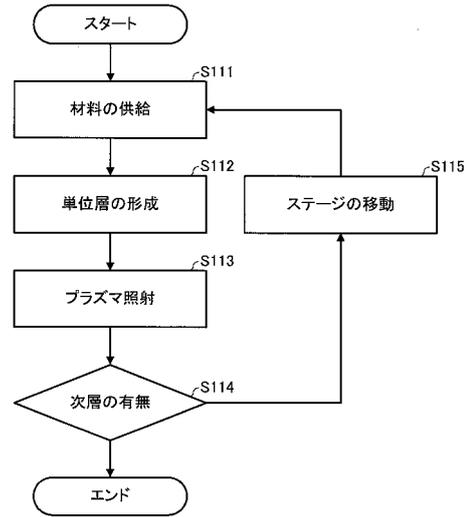
【図2】



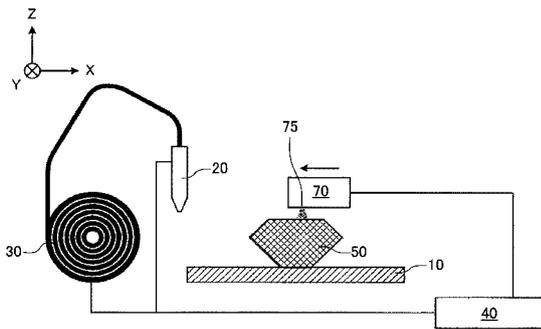
【 図 4 】



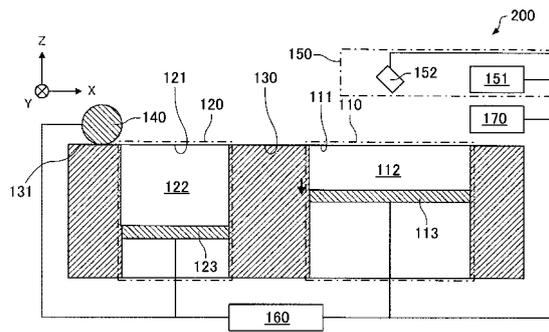
【 図 5 】



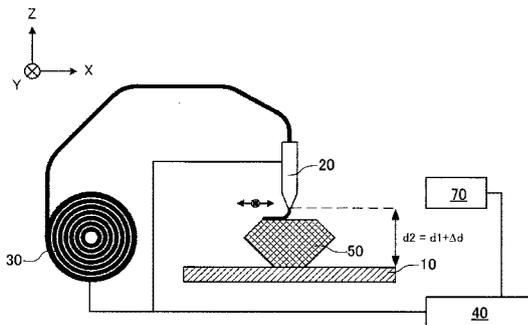
【 図 6 】



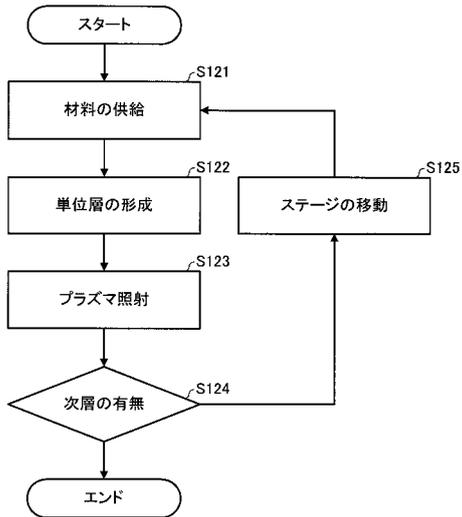
【 図 8 】



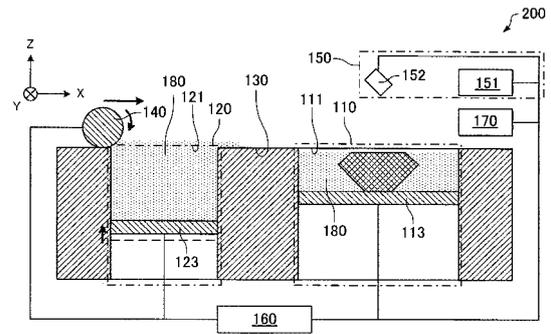
【 図 7 】



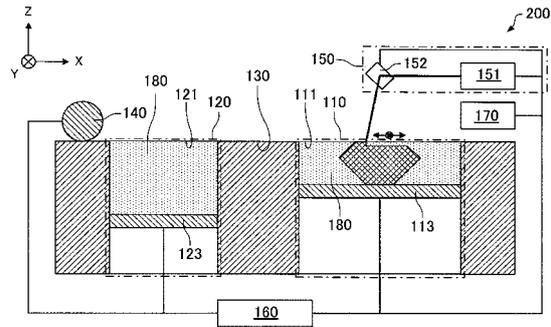
【図 9】



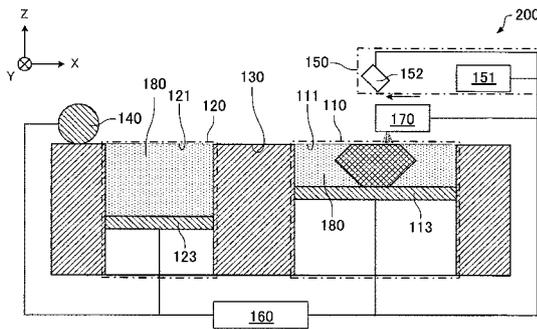
【図 10】



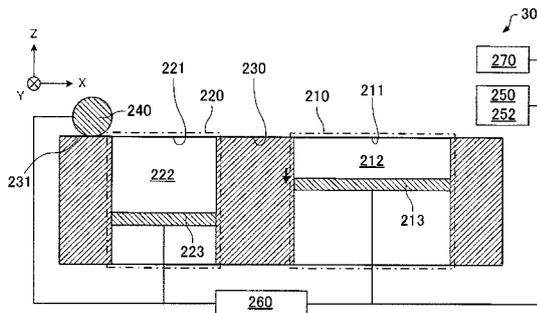
【図 11】



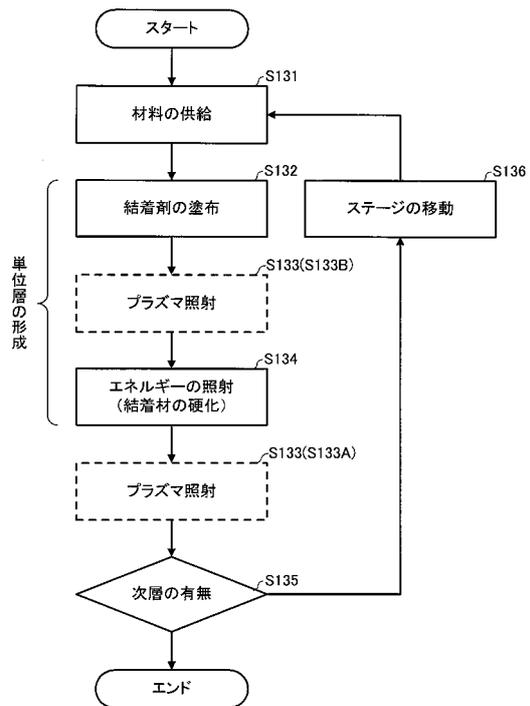
【図 12】



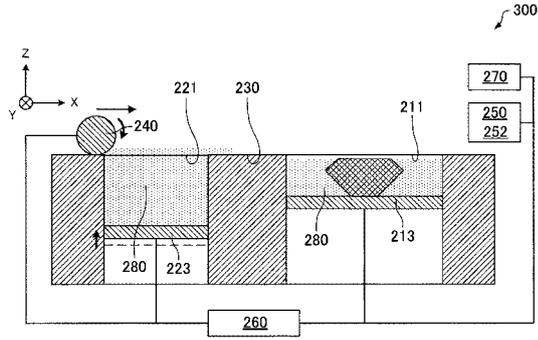
【図 13】



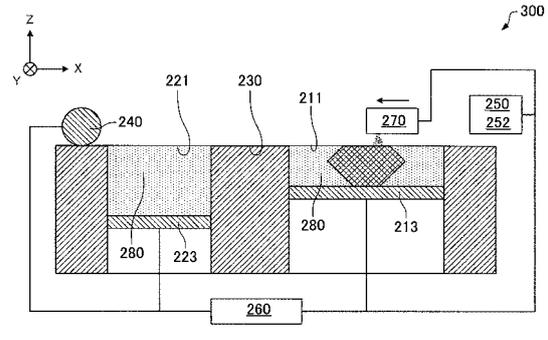
【図 15】



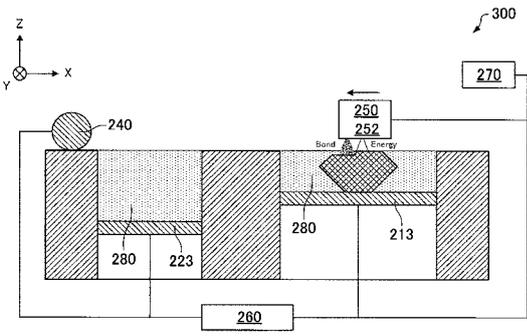
【図 16】



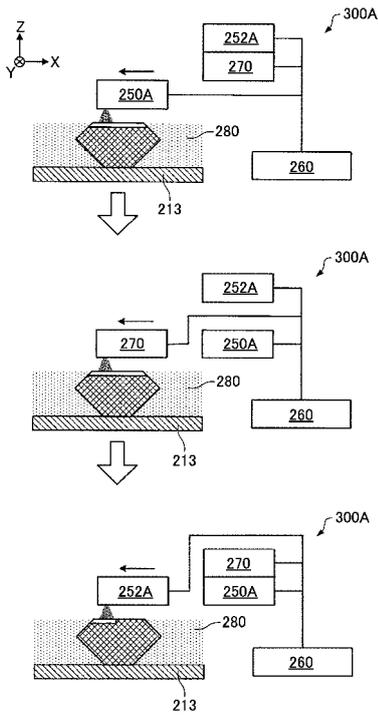
【図 18】



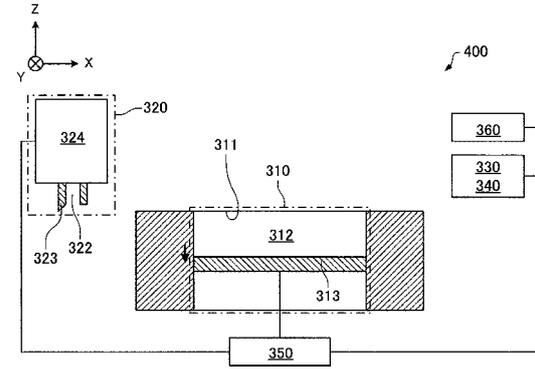
【図 17】



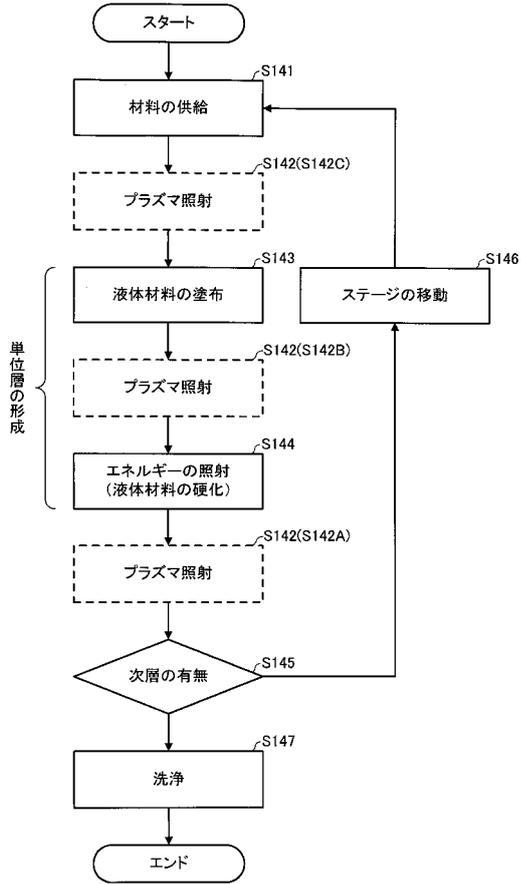
【図 19】



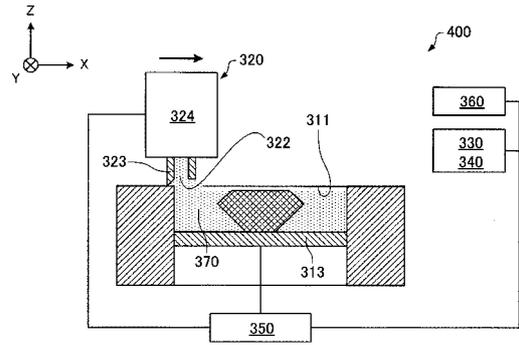
【図 20】



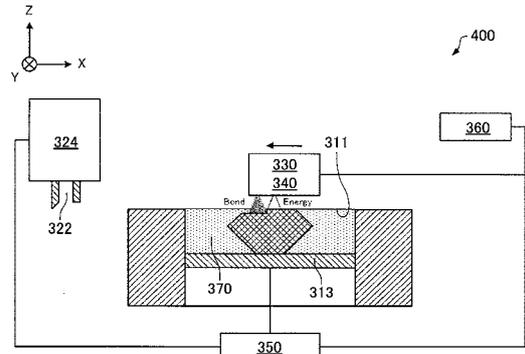
【図 2 1】



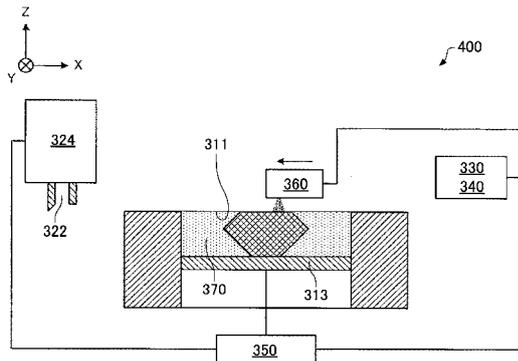
【図 2 2】



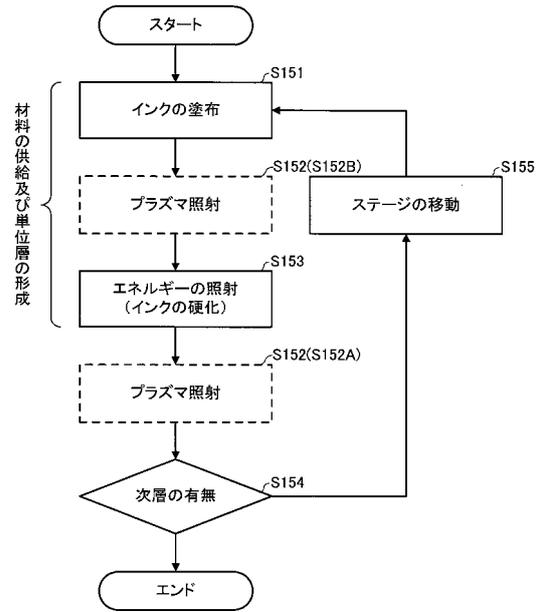
【図 2 3】



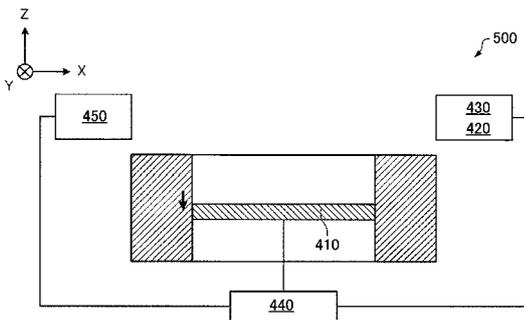
【図 2 4】



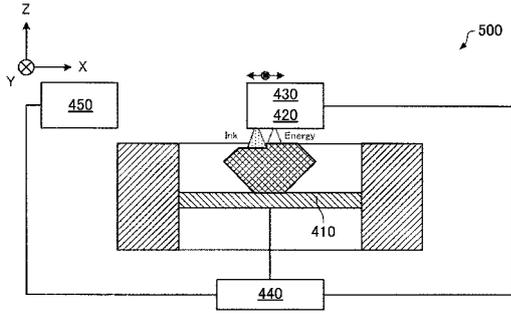
【図 2 6】



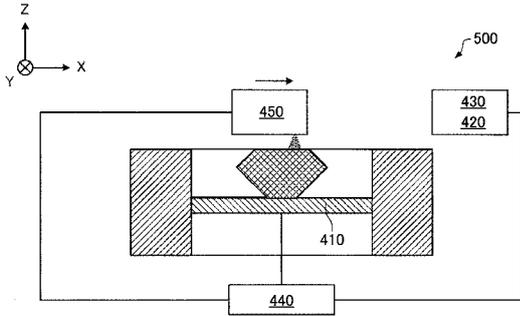
【図 2 5】



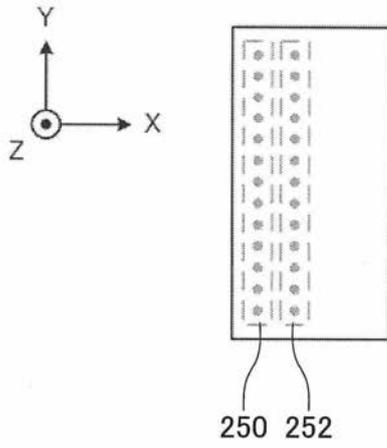
【 図 2 7 】



【 図 2 8 】



【 図 1 4 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 成相 マキ

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

Fターム(参考) 4F213 AC04 WA25 WA53 WA86 WB01 WL02 WL15 WL32 WL92