

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2021-518285
(P2021-518285A)

(43) 公表日 令和3年8月2日(2021.8.2)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B29C 64/393 (2017.01)	B29C 64/393	4F213
B29C 64/118 (2017.01)	B29C 64/118	
B33Y 50/02 (2015.01)	B33Y 50/02	
B33Y 10/00 (2015.01)	B33Y 10/00	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 54 頁)

(21) 出願番号 特願2020-550104 (P2020-550104)
 (86) (22) 出願日 平成31年3月18日 (2019.3.18)
 (85) 翻訳文提出日 令和2年11月10日 (2020.11.10)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2019/022785
 (87) 国際公開番号 W02019/182989
 (87) 国際公開日 令和1年9月26日 (2019.9.26)
 (31) 優先権主張番号 62/644,990
 (32) 優先日 平成30年3月19日 (2018.3.19)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関 米国 (US)

(71) 出願人 517203408
 デジタル・アロイズ・インコーポレイテッド
 アメリカ合衆国、マサチューセッツ・01803、バーリントン、ノース・アベニュー・37
 (74) 代理人 100114188
 弁理士 小野 誠
 (74) 代理人 100119253
 弁理士 金山 賢教
 (74) 代理人 100124855
 弁理士 坪倉 道明
 (74) 代理人 100129713
 弁理士 重森 一輝

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 三次元物体を印刷するための装置、方法およびシステム

(57) 【要約】

本開示は、三次元物体を印刷するための方法であって、3D物体の計算表現に基づいて少なくとも1つの堆積パラメータを計算すること、および印刷ヘッドを使用して、堆積パラメータに従って印刷を開始すること、を含む方法を提供する。印刷は、供給原料を通して基部に、またはその逆に電流が流れると、少なくとも1つの供給原料を加熱することを含む。次に、(i) 3D物体または供給原料の1つ以上の特性が測定されてもよく、(i) (i) で測定された3D物体の1つ以上の特性が、3D物体または供給原料の1つ以上の所定の特性を満たすかどうか決定されてもよい。測定された特性が所定の特性を満たさないと決定されると、堆積パラメータが調整されてもよい。印刷ヘッドおよび調整された堆積パラメータを使用して、3D物体を印刷し続けてもよい。

【選択図】 図1

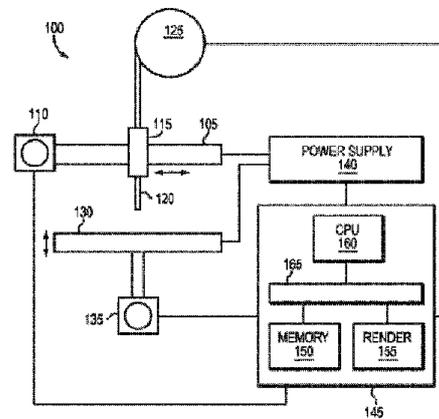


FIG. 1

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

基部に隣接する三次元（3D）物体を印刷するための方法であって、

（a）前記3D物体の計算表現に少なくとも部分的に基づいて、少なくとも1つの堆積パラメータを計算すること、

（b）印刷ヘッドを使用して、前記少なくとも1つの堆積パラメータに従って前記3D物体の印刷を開始すること、ここで、前記印刷は、少なくとも1つの供給原料を通して前記基部に、またはその逆に電流が流れると、少なくとも1つの供給原料を加熱することを含み、この加熱は、前記少なくとも1つの供給原料の少なくとも一部を溶融するのに十分であり、

（c）前記印刷ヘッドを用いて前記3D物体を印刷する間に、（i）前記3D物体または前記少なくとも1つの供給原料の1つ以上の特性を測定し、（ii）（i）で測定された前記3D物体の前記1つ以上の特性が、前記3D物体または前記少なくとも1つの供給原料の1つ以上の所定の特性を満たすかどうかを決定すること、

（d）（c）で測定された前記3D物体または前記少なくとも1つの供給原料の前記1つ以上の特性が前記1つ以上の所定の特性を満たさないと決定されると、前記少なくとも1つの堆積パラメータを調整して、少なくとも1つの調整された堆積パラメータを生成すること、および

（e）前記印刷ヘッドと前記少なくとも1つの調整された堆積パラメータとを使用して、前記3D物体を印刷し続けること、を含む方法。

【請求項 2】

前記1つ以上の所定の特性が、前記3D物体をシミュレーションすることによって生成される、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

前記シミュレーションが有限要素解析を含む、請求項2に記載の方法。

【請求項 4】

前記シミュレーションが、前記3D物体を印刷する前に行われる、請求項2に記載の方法。

【請求項 5】

前記少なくとも1つの堆積パラメータが、前記3D物体が印刷されている間にリアルタイムで調整される、請求項1に記載の方法。

【請求項 6】

前記少なくとも1つの供給原料が、金属線またはマルチ金属線である、請求項1に記載の方法。

【請求項 7】

前記マルチ金属線が、管状マルチ金属線である、請求項6に記載の方法。

【請求項 8】

前記少なくとも1つの堆積パラメータが、前記3D物体を印刷するために前記印刷ヘッドによって使用可能なツール経路軌道またはプロセスパラメータである、請求項1に記載の方法。

【請求項 9】

（c）での前記測定が、前記3D物体が生成されている前記基部または環境の少なくとも1つの堆積パラメータを測定することを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 10】

（c）が、1つ以上のセンサを使用して前記3D物体の前記1つ以上の特性を測定することをさらに含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 11】

前記1つ以上のセンサが、カメラ、赤外線センサ、光検出器、光高温計、発光分光分析装置、熱電対、サーミスタ、周波数応答分析器、磁力計、ガスフローセンサ、加速器、重量測定、接触力センサ、位置センサ、電気エネルギーセンサ、電気抵抗センサ、インダク

10

20

30

40

50

タンスセンサおよび静電容量センサからなる群から選択される、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記測定が、光学高温測定、赤外線サーモグラフィ、分光法、レーザ超音波、重量測定、接触力測定、位置測定、電気エネルギー測定、電気抵抗測定、インダクタンス測定および静電容量測定からなる群から選択される 1 種以上を使用することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 13】

前記 1 つ以上の特性が、変調信号、質量、熱質量、前記少なくとも 1 つの供給原料の質量流量、チャンバ温度、熱容量、表面温度、電流、電圧、前記少なくとも 1 つの供給原料の前記先端の接触力、および前記少なくとも 1 つの供給原料の量からなる群から選択される 1 種以上を含む、請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 14】

前記変調信号がパルス幅変調である、請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

前記少なくとも 1 つの堆積パラメータが、前記少なくとも 1 つの供給原料、または前記 3 D 物体の少なくとも一部の抵抗、前記少なくとも 1 つの供給原料の接触力、前記少なくとも 1 つの供給原料の形状、前記 3 D 物体の少なくとも一部の形状、前記少なくとも 1 つの供給原料の位置、前記 3 D 物体の少なくとも一部の位置、前記印刷ヘッドおよび前記基部の位置、前記印刷ヘッドおよび前層の位置、前記印刷中に使用される前記供給原料の量、前記印刷の電気エネルギー出力、電流、前記少なくとも 1 つの供給原料と前記基部との間に印加される電圧、電気抵抗パラメータ、前記少なくとも 1 つの供給原料、または前記 3 D 物体の少なくとも一部のインダクタンス、ならびに前記少なくとも 1 つの供給原料、または前記 3 D 物体の少なくとも一部の静電容量からなる群から選択される 1 種以上を含む、請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 16】

前記少なくとも 1 つの堆積パラメータが、前記 3 D 物体または前記少なくとも 1 つの供給原料のエネルギーまたは質量である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 17】

前記少なくとも 1 つの堆積パラメータが、前記 3 D 物体または前記少なくとも 1 つの供給原料の少なくとも 1 つのボクセルのエネルギーまたは質量に対応する、請求項 1 に記載の方法。

30

【請求項 18】

(c) が、前記 3 D 物体または前記少なくとも 1 つの供給原料の前記エネルギーまたは前記質量を計算することをさらに含む、請求項 16 に記載の方法。

【請求項 19】

前記 3 D 物体または前記少なくとも 1 つの供給原料の前記エネルギーまたは前記質量をコンピュータメモリに記憶することをさらに含む、請求項 16 に記載の方法。

【請求項 20】

(d) が、前記 3 D 物体または前記少なくとも 1 つの供給原料の質量を制御することを含む、請求項 1 に記載の方法。

40

【請求項 21】

(d) が、前記 3 D 物体の前記印刷中に堆積速度または質量流量を制御することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 22】

前記加熱がジュール加熱である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 23】

基部に隣接する三次元 (3 D) 物体を印刷するためのシステムであって、前記 3 D 物体を印刷するように構成された印刷ヘッドと、前記印刷ヘッドに動作可能に結合された 1 つ以上のコンピュータプロセッサと、を備え

50

、前記1つ以上のコンピュータプロセッサが、

(i) 前記3D物体の計算表現に少なくとも部分的に基づいて、少なくとも1つの堆積パラメータを計算し、

(ii) 前記少なくとも1つの堆積パラメータに従って前記3D物体の印刷を開始するように前記印刷ヘッドに指示し、ここで、前記印刷は、少なくとも1つの供給原料を通過して前記基部に、またはその逆に電流が流れると、少なくとも1つの供給原料を加熱することを含み、この加熱は、前記少なくとも1つの供給原料の少なくとも一部を溶融するのに十分であり、

(iii) 前記印刷ヘッドを用いて前記3D物体を印刷する間に、(1)前記3D物体または前記少なくとも1つの供給原料の1つ以上の特性を測定し、(2)(1)で測定された前記3D物体の前記1つ以上の特性が、前記3D物体または前記少なくとも1つの供給原料の1つ以上の所定の特性を満たすかどうかを決定し、

(iv) (iii)で測定された前記3D物体または前記少なくとも1つの供給原料の前記1つ以上の特性が前記1つ以上の所定の特性を満たさないと決定されると、前記少なくとも1つの堆積パラメータを調整して、少なくとも1つの調整された堆積パラメータを生成し、さらに、

(v) 前記印刷ヘッドと前記少なくとも1つの調整された堆積パラメータとを使用して、前記3D物体を印刷し続けるように、個別にまたは集合的にプログラムされるシステム。

【請求項24】

前記基部が、支持体に固定された少なくとも1つの導電性シートを含む、請求項23に記載のシステム。

【請求項25】

三次元(3D)物体を印刷するための方法であって、

(a) 前記印刷中に前記3D物体を支持するための基部と、前記基部に固定された少なくとも1つの導電性シートとを提供すること、および

(b) 前記少なくとも1つの導電性シートに固定された前記3D物体を印刷すること、を含み、この印刷が、少なくとも1つの供給原料を通過して前記少なくとも1つの導電性シートに、またはその逆に電流が流れると、前記少なくとも1つの導電性シートと接触している少なくとも1つの供給原料を加熱することを含む方法。

【請求項26】

前記加熱がジュール加熱である、請求項25に記載の方法。

【請求項27】

前記印刷が、前記少なくとも1つの供給原料を通過して前記少なくとも1つの導電性シートに、またはその逆に前記電流を流しながら、前記少なくとも1つの導電性シートに対して前記少なくとも1つの供給原料を移動させることを含む、請求項25に記載の方法。

【請求項28】

前記基部が導電性である、請求項25に記載の方法。

【請求項29】

三次元(3D)物体を印刷するためのシステムであって、

前記印刷中に前記3D物体を支持するための基部と、

前記基部に固定され、前記印刷中に前記3D物体が固定される少なくとも1つの導電性シートと、

少なくとも1つの供給原料を通過して前記導電性シートに、またはその逆に電流が流れると、少なくとも1つの供給原料を加熱するように構成された少なくとも1つのコントローラと、を備えるシステム。

【請求項30】

前記基部が導電性である、請求項29に記載のシステム。

【請求項31】

前記少なくとも1つの供給原料を分配するための多軸ロボットアーム上に少なくとも1

10

20

30

40

50

つの印刷ヘッドをさらに備える、請求項 29 に記載のシステム。

【請求項 32】

前記多軸ロボットアームが、6 軸または 7 軸ロボットアームである、請求項 31 に記載のシステム。

【請求項 33】

前記 3D 物体の少なくとも 1 つの層を成形するための 1 つ以上の先端をさらに備える、請求項 29 に記載のシステム。

【請求項 34】

前記成形が機械的操作を含む、請求項 33 に記載のシステム。

【請求項 35】

堆積中または堆積後に前記少なくとも 1 つの供給原料の一部を切断するためのカットをさらに備える、請求項 29 に記載のシステム。

【請求項 36】

前記 3D 物体の少なくとも 1 つの特性を測定するための 1 つ以上のセンサをさらに備える、請求項 29 に記載のシステム。

【請求項 37】

前記 1 つ以上のセンサが前記基部の外部にある、請求項 36 に記載のシステム。

【請求項 38】

前記 1 つ以上のセンサが、カメラ、赤外線センサ、光検出器、光高温計、発光分光分析装置、重量測定、熱電対、サーミスタ、周波数応答分析器、磁力計、ガスフローセンサ、加速器、接触力センサ、位置センサ、電気エネルギーセンサ、電気抵抗センサ、インダクタンスセンサおよび静電容量センサからなる群から選択される、請求項 36 に記載のシステム。

【請求項 39】

前記基部が、回転シリンダまたはターンテーブルである、請求項 29 に記載のシステム。

【請求項 40】

前記少なくとも 1 つの導電性シートが、前記基部の形態をとる、請求項 29 に記載のシステム。

【請求項 41】

前記少なくとも 1 つの導電性シートが、金属メッシュ、箔およびフィルムからなる群から選択される 1 種以上を含む、請求項 29 に記載のシステム。

【請求項 42】

前記少なくとも 1 つの導電性シートが、前記少なくとも 1 つの供給原料に付着する材料から形成される、請求項 29 に記載のシステム。

【請求項 43】

前記少なくとも 1 つの導電性シートが、前記 3D 物体の一部を形成する、請求項 29 に記載のシステム。

【請求項 44】

前記少なくとも 1 つの導電性シートが、真空を使用して前記基部上に固定される、請求項 29 に記載のシステム。

【請求項 45】

前記基部が、前記真空用の穴を備える、請求項 44 に記載のシステム。

【請求項 46】

前記真空が、熱の流れ、または電流の前記流れを変化させるために変更される、請求項 44 に記載のシステム。

【請求項 47】

前記少なくとも 1 つの導電性シートが、前記基部に非磁氣的に固定される、請求項 29 に記載のシステム。

【請求項 48】

10

20

30

40

50

前記基部が、熱電対およびヒータカートリッジ用の穴を備える、請求項 29 に記載のシステム。

【請求項 49】

前記 3D 物体の少なくとも一部を印刷するためのツール経路が、前記 3D 物体の少なくとも 1 つの堆積パラメータを制御することによって調整される、請求項 29 に記載のシステム。

【請求項 50】

前記少なくとも 1 つの堆積パラメータが、抵抗、接触力、前記少なくとも 1 つの供給原料の形状、前記 3D 物体の前記少なくとも前記一部の形状、前記少なくとも 1 つの供給原料の位置、前記 3D 物体の前記少なくとも前記一部の位置、フィーダおよび前記導電性シートの位置、前記フィーダおよび前層の位置、前記印刷中に使用される前記供給原料の量、前記印刷の電気エネルギー出力、電流、電圧、電気抵抗パラメータ、前記少なくとも 1 つの供給原料、または前記 3D 物体の前記少なくとも前記一部のインダクタンス、ならびに前記少なくとも 1 つの供給原料、または前記 3D 物体の前記少なくとも前記一部の静電容量からなる群から選択される 1 種以上を含む、請求項 49 に記載のシステム。

10

【請求項 51】

前記少なくとも 1 つの導電性シートが、前記基部に取り外し可能に固定される、請求項 29 に記載のシステム。

【請求項 52】

基部に隣接する三次元 (3D) 物体を印刷するための方法であって、

20

(a) コンピュータメモリ内に前記 3D 物体の計算表現を受け取ること、

(b) 印刷ヘッドを使用して、(i) フィーダを介して少なくとも 1 つの供給原料を前記基部に導き、(ii) 前記少なくとも 1 つの供給原料を通して前記基部に、またはその逆に電流を流すことによって、前記 3D 物体の印刷を開始すること、

(c) 前記少なくとも 1 つの供給原料を通して前記基部に、またはその逆に電流が流れると、前記少なくとも 1 つの供給原料を加熱すること、ここで、この加熱は、前記少なくとも 1 つの供給原料の少なくとも一部を溶融するのに十分であり、

(d) 前記 3D 物体の前記計算表現に従って、前記基部に隣接する前記少なくとも 1 つの供給原料の前記少なくとも前記一部の少なくとも 1 つの層を堆積させ、それにより、前記 3D 物体を印刷すること、および

30

(e) 1 つ以上の先端を使用して前記少なくとも 1 つの層を成形すること、を含む方法

【請求項 53】

(d) および (e) を 1 回以上繰り返して、前記基部に隣接する前記少なくとも 1 つの供給原料または少なくとも 1 つの他の供給原料の (1 または複数の) 追加部分を堆積および成形することをさらに含む、請求項 52 に記載の方法。

【請求項 54】

(e) に続いて、前記少なくとも 1 つの層に対する前記 1 つ以上の先端の相対位置を変化させることをさらに含む、請求項 52 に記載の方法。

【請求項 55】

40

(e) が、前記 3D 物体の印刷後に行われる、請求項 52 に記載の方法。

【請求項 56】

(d) が、前記少なくとも 1 つの層を堆積した後に、前記少なくとも 1 つの供給原料の前記少なくとも前記一部を切断することを含む、請求項 52 に記載の方法。

【請求項 57】

(e) が、前記少なくとも 1 つの供給原料の前記少なくとも前記一部の前記少なくとも 1 つの層を機械加工することをさらに含む、請求項 52 に記載の方法。

【請求項 58】

前記機械加工が、コンピュータ数値制御機械加工、ミル仕上げ、研磨ブラッシングおよび研磨からなる群から選択される 1 種以上の使用を含む、請求項 57 に記載の方法。

50

【請求項 59】

前記 3D 物体の前記印刷および前記機械加工が、同じ装置内で行われる、請求項 57 に記載の方法。

【請求項 60】

前記成形が機械的操作を含む、請求項 52 に記載の方法。

【請求項 61】

前記成形が、圧力、熱、電力およびガス量からなる群から選択される 1 つ以上のパラメータの変化によって行われる、請求項 52 に記載の方法。

【請求項 62】

前記基部が、既存の 3D 物体または導電性基部である、請求項 52 に記載の方法。

10

【請求項 63】

前記 1 つ以上の先端が、塗抹先端または再熔融先端である、請求項 52 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、2018年3月19日に出版された米国仮特許出願第 62 / 644 , 990 号の優先権を主張し、その全体を参照により本明細書に組み込む。

【背景技術】

【0002】

20

金属構造物の積層造形のための既存の技術は、一般に、3つのカテゴリー、すなわち、粉末床熔融結合（例えば、直接金属レーザ焼結）、接着粉末結合（*adhesive powder bonding*）とそれに続く焼結、および熔融金属堆積（*molten metal deposition*）に分類され得る。

【0003】

粉末床熔融結合技術は、構築領域に金属粉末の床を含み、粉末粒子にレーザまたは電子ビームを適用して、それらを互いに選択的に接合して適切なパターンを形成し得る。1つの層が完成すると、さらに多くの金属粉末を最初の層の上に広げてもよく、その層に適切なパターンで前層に粉末粒子を接合することができる。このプロセスは、構築領域の表面全体に新鮮な粉末を広げてから選択的に接合し、構造物を 1 層ずつ構築することによって継続することができる。粉末床の内側から完成した部品を回収してもよく、構築領域から粉末を空にして、次の部品を開始することができる。ただし、原料として金属粉末を従来通り使用することには問題がある場合がある。金属粉末は製造するのに費用がかかる可能性があり、一般に、同じ体積の材料では同じ材料から作製されたワイヤよりも高価である。金属粉末は取り扱いが難しく危険な場合がある。例えば、金属粉末がこぼれると、空气中に粉塵が形成されて、それを吸入するのが危険である場合があり、そのような粉塵は爆発の危険がある可能性さえある。加えて、粉末床熔融結合積層造形技術に必要な粉末の量は、構築領域全体に粉末を充填することができるように、部品を作製するのに必要な量の何倍も大きくなる可能性がある。これは、プロセスのコストを増加させる場合があり、容易に再利用され得ない粉末の消耗および廃棄につながる可能性がある。また、従来の粉末ベースのプロセスは、必要な層の厚さまで粉末の層を同時に正確に広げることができ、レーザまたは電子ビームにより熱を加えて粉末を融合することが比較的遅く効率的でない場合があるため、非常に進みが遅い場合がある。

30

40

【0004】

粉末床熔融結合では、粒子を融合する熱源として高出力のレーザまたは電子ビームが使用され得る。このようなプロセスは、特に金属の融合に必要な電力では、多くの安全上のリスクを有し得る。さらに、レーザまたは電子ビームを使用した粉末の熔融は、接合表面に直接印加される熱と比較してはるかに多くの熱を必要とすることがあり、これにより、全体的なプロセスの進みが遅くなり、過剰な熱が粉末床に放散される場合がある。その結果、レーザが加熱している領域の周囲に不要な焼結粒子が存在する危険性があり得る。こ

50

のプロセスは、熱伝導性の低い金属および合金にはさらに当てはまる場合がある。

【0005】

接着結合では、粒子を加熱して直接融合する代わりに、バインダを使用して隣接する粉末粒子を接合してもよい。バインダを選択的にスプレーしてパターンを形成することができ、粉末を1層ずつ加えて、「グリーン部」と呼ばれることが多い構造物を形成してもよい。別の形態では、印刷ヘッドからバインダと粉末との混合物を押し出すことができる。機械的に堅固な金属部品を作製するために、一般に、粉末床からグリーン部を除去し、接着剤を除去し、部品を炉に入れて、結合された金属粉末を焼結することができる。焼結は、プロセスの複雑さと、部品の製造に必要な時間とを増大させる可能性がある。部品が厚ければ、全部のバインダを除去すること、または粉末ベースの部品を完全な密度および強度に焼結することが困難な場合がある。さらに、バインダによって占められていた体積が、金属部品内のポイドになる可能性がある。部品は焼結すると、そのようなポイドを埋めるために収縮し、正確な形状を維持することが困難になる場合がある。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

溶融金属堆積技術では、金属を液化するための熱は、プラズマ、電気アークまたはレーザービームから生じる。次いで、溶融金属をパターンにスプレーまたは滴下して、金属が冷えるにつれて層を構築することにより構造物を形成する。金属をスプレーまたは滴下することによって達成される分離度は、他のプロセスと比較して一般に不十分である。さらに、金属がスプレーまたは滴下されるため、堆積することができる形状が制限される。

20

【課題を解決するための手段】

【0007】

別の態様では、本開示は、基部に隣接する三次元(3D)物体を印刷するための方法であって、(a)3D物体の計算表現に少なくとも部分的に基づいて、少なくとも1つの堆積パラメータを計算すること、(b)印刷ヘッドを使用して、少なくとも1つの堆積パラメータに従って3D物体の印刷を開始すること、ここで、印刷は、少なくとも1つの供給原料を通して基部に、またはその逆に電流が流れると、少なくとも1つの供給原料を加熱することを含み、この加熱は、少なくとも1つの供給原料の少なくとも一部を溶融するのに十分であり、(c)印刷ヘッドを用いて3D物体を印刷する間に、(i)3D物体または少なくとも1つの供給原料の1つ以上の特性を測定し、(ii)(i)で測定された3D物体の1つ以上の特性が、3D物体または少なくとも1つの供給原料の1つ以上の所定の特性を満たすかどうかを決定すること、(d)(c)で測定された3D物体または少なくとも1つの供給原料の1つ以上の特性が1つ以上の所定の特性を満たさないと決定されると、少なくとも1つの堆積パラメータを調整して、少なくとも1つの調整された堆積パラメータを生成すること、および(e)印刷ヘッドと少なくとも1つの調整された堆積パラメータとを使用して、3D物体を印刷し続けること、を含む方法を提供する。

30

【0008】

いくつかの実施形態では、1つ以上の所定の特性は、3D物体をシミュレーションすることによって生成される。いくつかの実施形態では、シミュレーションは有限要素解析を含む。いくつかの実施形態では、シミュレーションは、3D物体を印刷する前に行われる。いくつかの実施形態では、少なくとも1つの堆積パラメータは、3D物体が印刷されている間にリアルタイムで調整される。

40

【0009】

いくつかの実施形態では、少なくとも1つの供給原料は、金属線またはマルチ金属線(multi-metal wire)である。いくつかの実施形態では、マルチ金属線は管状マルチ金属線である。いくつかの実施形態では、少なくとも1つの堆積パラメータは、3D物体を印刷するために印刷ヘッドによって使用可能なツール経路軌道またはプロセスパラメータである。いくつかの実施形態では、(c)での測定は、3D物体が生成されている基部または環境の少なくとも1つの堆積パラメータを測定することを含む。いくつ

50

かの実施形態では、(c)は、1つ以上のセンサを使用して3D物体の1つ以上の特性を測定することをさらに含む。いくつかの実施形態では、1つ以上のセンサは、カメラ、赤外線センサ、光検出器、光高温計、発光分光分析装置、熱電対、サーミスタ、周波数応答分析器、磁力計、ガスフローセンサ、加速器、重量測定、接触力センサ、位置センサ、電気エネルギーセンサ、電気抵抗センサ、インダクタンスセンサおよび静電容量センサからなる群から選択される。

【0010】

いくつかの実施形態では、測定は、光学高温測定、赤外線サーモグラフィ、分光法、レーザー超音波、重量測定、接触力測定、位置測定、電気エネルギー測定、電気抵抗測定、インダクタンス測定および静電容量測定からなる群から選択される1種以上を使用することを含む。いくつかの実施形態では、1つ以上の特性は、変調信号、質量、熱質量、少なくとも1つの供給原料の質量流量、チャンバ温度、熱容量、表面温度、電流、電圧、少なくとも1つの供給原料の先端の接触力、および少なくとも1つの供給原料の量からなる群から選択される1種以上を含む。いくつかの実施形態では、変調信号はパルス幅変調である。

10

【0011】

いくつかの実施形態では、少なくとも1つの堆積パラメータは、少なくとも1つの供給原料、または3D物体の少なくとも一部の抵抗、少なくとも1つの供給原料の接触力、少なくとも1つの供給原料の形状、3D物体の少なくとも一部の形状、少なくとも1つの供給原料の位置、3D物体の少なくとも一部の位置、印刷ヘッドおよび基部の位置、印刷ヘッドおよび前層の位置、印刷中に使用される供給原料の量、印刷の電気エネルギー出力、電流、少なくとも1つの供給原料と基部との間に印加される電圧、電気抵抗パラメータ、少なくとも1つの供給原料、または3D物体の少なくとも一部のインダクタンス、ならびに少なくとも1つの供給原料、または3D物体の少なくとも一部の静電容量からなる群から選択される1種以上を含む。いくつかの実施形態では、少なくとも1つの堆積パラメータは、3D物体または少なくとも1つの供給原料のエネルギーまたは質量である。いくつかの実施形態では、少なくとも1つの堆積パラメータは、3D物体または少なくとも1つの供給原料の少なくとも1つのボクセルのエネルギーまたは質量に対応する。いくつかの実施形態では、(c)は、3D物体または少なくとも1つの供給原料のエネルギーまたは質量を計算することをさらに含む。いくつかの実施形態では、3D物体を印刷するための方法は、3D物体または少なくとも1つの供給原料のエネルギーまたは質量をコンピュータメモリに記憶することをさらに含む。いくつかの実施形態では、(d)は、3D物体または少なくとも1つの供給原料の質量を制御することを含む。いくつかの実施形態では、(d)は、3D物体の印刷中に堆積速度または質量流量を制御することを含む。いくつかの実施形態では、加熱はジュール加熱である。

20

30

【0012】

別の態様では、本開示は、基部に隣接する三次元(3D)物体を印刷するためのシステムであって、3D物体を印刷するように構成された印刷ヘッドと、印刷ヘッドに動作可能に結合された1つ以上のコンピュータプロセッサとを備え、1つ以上のコンピュータプロセッサが、(i)3D物体の計算表現に少なくとも部分的に基づいて、少なくとも1つの堆積パラメータを計算し、(ii)少なくとも1つの堆積パラメータに従って3D物体の印刷を開始するように印刷ヘッドに指示し、ここで、印刷は、少なくとも1つの供給原料を通過して基部に、またはその逆に電流が流れると、少なくとも1つの供給原料を加熱することを含み、この加熱は、少なくとも1つの供給原料の少なくとも一部を溶融するのに十分であり、(iii)印刷ヘッドを用いて3D物体を印刷する間に、(1)3D物体または少なくとも1つの供給原料の1つ以上の特性を測定し、(2)(1)で測定された3D物体の1つ以上の特性が、3D物体または少なくとも1つの供給原料の1つ以上の所定の特性を満たすかどうかを決定し、(iv)(iii)で測定された3D物体または少なくとも1つの供給原料の1つ以上の特性が1つ以上の所定の特性を満たさないと決定されると、少なくとも1つの堆積パラメータを調整して、少なくとも1つの調整された堆積パラ

40

50

メータを生成し、さらに、(v)印刷ヘッドと少なくとも1つの調整された堆積パラメータとを使用して、3D物体を印刷し続けるように、個別にまたは集合的にプログラムされるシステムを提供する。いくつかの実施形態では、基部は、支持体に固定された少なくとも1つの導電性シートを含む。

【0013】

別の態様では、本開示は、三次元(3D)物体を印刷するための方法であって、(a)印刷中に3D物体を支持するための基部と、基部に固定された少なくとも1つの導電性シートとを提供すること、および(b)少なくとも1つの導電性シートに固定された3D物体を印刷すること、を含み、この印刷が、少なくとも1つの供給原料を通して少なくとも1つの導電性シートに、またはその逆に電流が流れると、少なくとも1つの導電性シートと接触している少なくとも1つの供給原料を加熱することを含む方法を提供する。

10

【0014】

いくつかの実施形態では、加熱はジュール加熱である。いくつかの実施形態では、印刷は、少なくとも1つの供給原料を通して少なくとも1つの導電性シートに、またはその逆に電流を流しながら、少なくとも1つの導電性シートに対して少なくとも1つの供給原料を移動させることを含む。いくつかの実施形態では、基部は導電性である。

【0015】

別の態様では、本開示は、三次元(3D)物体を印刷するためのシステムであって、印刷中に3D物体を支持するための基部と、基部に固定され、印刷中に3D物体が固定される少なくとも1つの導電性シートと、少なくとも1つの供給原料を通して導電性シートに、またはその逆に電流が流れると、少なくとも1つの供給原料を加熱するように構成された少なくとも1つのコントローラと、を備えるシステムを提供する。

20

【0016】

いくつかの実施形態では、基部は導電性である。いくつかの実施形態では、3D物体を印刷するためのシステムは、少なくとも1つの供給原料を分配するための多軸ロボットアーム上に少なくとも1つの印刷ヘッドをさらに備える。いくつかの実施形態では、多軸ロボットアームは、6軸または7軸ロボットアームである。いくつかの実施形態では、3D物体を印刷するためのシステムは、3D物体の少なくとも1つの層を成形するための1つ以上の先端をさらに備える。いくつかの実施形態では、成形は機械的操作を含む。

【0017】

いくつかの実施形態では、3D物体を印刷するためのシステムは、堆積中または堆積後に少なくとも1つの供給原料の一部を切断するためのカッタをさらに備える。いくつかの実施形態では、3D物体を印刷するためのシステムは、3D物体の少なくとも1つの特性を測定するための1つ以上のセンサをさらに備える。いくつかの実施形態では、1つ以上のセンサは、基部の外部にある。いくつかの実施形態では、1つ以上のセンサは、カメラ、赤外線センサ、光検出器、光高温計、発光分光分析装置、重量測定、熱電対、サーミスタ、周波数応答分析器、磁力計、ガスフローセンサ、加速器、接触力センサ、位置センサ、電気エネルギーセンサ、電気抵抗センサ、インダクタンスセンサおよび静電容量センサからなる群から選択される。

30

【0018】

いくつかの実施形態では、基部は、回転シリンダまたはターンテーブルである。いくつかの実施形態では、少なくとも1つの導電性シートは、基部の形態をとる。いくつかの実施形態では、少なくとも1つの導電性シートは、金属メッシュ、箔およびフィルムからなる群から選択される1種以上を含む。いくつかの実施形態では、少なくとも1つの導電性シートは、少なくとも1つの供給原料に付着する材料から形成される。いくつかの実施形態では、少なくとも1つの導電性シートは、3D物体の一部を形成する。いくつかの実施形態では、少なくとも1つの導電性シートは、真空を使用して基部上に固定される。いくつかの実施形態では、基部は真空用の穴を備える。いくつかの実施形態では、真空は、熱の流れ、または電流の流れを変化させるために変更される。

40

【0019】

50

いくつかの実施形態では、少なくとも1つの導電性シートは、基部に非磁氣的に固定される。いくつかの実施形態では、基部は、熱電対およびヒータカートリッジ用の穴を備える。いくつかの実施形態では、3D物体の少なくとも一部を印刷するためのツール経路は、3D物体の少なくとも1つの堆積パラメータを制御することによって調整される。いくつかの実施形態では、少なくとも1つの堆積パラメータは、抵抗、接触力、少なくとも1つの供給原料の形状、3D物体の少なくとも一部の形状、少なくとも1つの供給原料の位置、3D物体の少なくとも一部の位置、フィードおよび導電性シートの位置、フィードおよび前層の位置、印刷中に使用される供給原料の量、印刷の電気エネルギー出力、電流、電圧、電気抵抗パラメータ、少なくとも1つの供給原料、または3D物体の少なくとも一部のインダクタンス、ならびに少なくとも1つの供給原料、または3D物体の少なくとも一部の静電容量からなる群から選択される1種以上を含む。いくつかの実施形態では、少なくとも1つの導電性シートは、基部に取り外し可能に固定される。

10

20

30

40

50

【0020】

別の態様では、本開示は、基部に隣接する三次元(3D)物体を印刷するための方法であって、(a)3D物体の計算表現に少なくとも部分的に基づいて、少なくとも1つの堆積パラメータを計算すること、(b)印刷ヘッドと少なくとも1つの堆積パラメータとを使用して、少なくとも1つの供給原料を通して基部に、またはその逆に電流が流れると、少なくとも1つの供給原料を加熱することによって、3D物体の印刷を開始すること、ここで、この加熱は、少なくとも1つの供給原料の少なくとも一部を溶融するのに十分であり、(c)印刷ヘッドを用いて3D物体を印刷する間に、(i)3D物体または少なくとも1つの供給原料の1つ以上の特性を測定し、(ii)(i)で測定された3D物体の1つ以上の特性が、3D物体または少なくとも1つの供給原料の1つ以上の所定の特性を満たすかどうかを決定すること、(d)(c)で測定された3D物体または少なくとも1つの供給原料の1つ以上の特性が1つ以上の所定の特性を満たさないと決定されると、少なくとも1つの堆積パラメータを調整して、少なくとも1つの調整された堆積パラメータを生成すること、および(e)印刷ヘッドと少なくとも1つの調整された堆積パラメータとを使用して、3D物体を印刷し続けること、を含む方法を提供する。

【0021】

いくつかの実施形態では、1つ以上の所定の特性は、3D物体をシミュレーションすることによって生成される。いくつかの実施形態では、シミュレーションは有限要素解析を含む。シミュレーションは、3D物体を印刷する前に行われてもよい。いくつかの実施形態では、少なくとも1つの堆積パラメータは、3D物体が印刷されている間にリアルタイムで調整される。いくつかの実施形態では、少なくとも1つの供給原料は、金属線またはマルチ金属線(multi-metal wire)である。マルチ金属線は、管状マルチ金属線であり得る。いくつかの実施形態では、少なくとも1つの堆積パラメータは、3D物体を印刷するために印刷ヘッドによって使用可能なツール経路軌道またはプロセスパラメータである。いくつかの実施形態では、工程(c)での測定は、3D物体が生成されている基部または環境の少なくとも1つの堆積パラメータを測定することを含む。いくつかの実施形態では、工程(c)は、1つ以上のセンサを使用して3D物体の1つ以上の特性を測定することをさらに含む。

【0022】

いくつかの実施形態では、1つ以上のセンサは、カメラ、赤外線センサ、光検出器、光高温計、発光分光分析装置、熱電対、サーミスタ、周波数応答分析器、磁力計、ガスフローセンサ、加速器、重量測定、接触力センサ、位置センサ、電気エネルギーセンサ、電気抵抗センサ、インダクタンスセンサおよび静電容量センサからなる群から選択される。いくつかの実施形態では、測定は、光学高温測定、赤外線サーモグラフィ、分光法、レーザ超音波、重量測定、接触力測定、位置測定、電気エネルギー測定、電気抵抗測定、インダクタンス測定および静電容量測定からなる群から選択される1種以上を使用することを含む。いくつかの実施形態では、1つ以上の特性は、変調信号、質量、熱質量、少なくとも1つの供給原料の質量流量、チャンバ温度、熱容量、表面温度、電流、電圧、少なくとも

1つの供給原料の先端の接触力、および少なくとも1つの供給原料の量からなる群から選択される1種以上を含む。変調信号は、パルス幅変調であり得る。いくつかの実施形態では、少なくとも1つの堆積パラメータは、少なくとも1つの供給原料、または3D物体の少なくとも一部の抵抗、少なくとも1つの供給原料の接触力、少なくとも1つの供給原料の形状、3D物体の少なくとも一部の形状、少なくとも1つの供給原料の位置、3D物体の少なくとも一部の位置、印刷ヘッドおよび基部の位置、印刷ヘッドおよび前層の位置、印刷中に使用される供給原料の量、印刷の電気エネルギー出力、電流、少なくとも1つの供給原料と基部との間に印加される電圧、電気抵抗パラメータ、少なくとも1つの供給原料、または3D物体の少なくとも一部のインダクタンス、ならびに少なくとも1つの供給原料、または3D物体の少なくとも一部の静電容量からなる群から選択される1種以上を含む。少なくとも1つの堆積パラメータは、3D物体または少なくとも1つの供給原料のエネルギーまたは質量であり得る。いくつかの実施形態では、少なくとも1つの堆積パラメータは、3D物体または少なくとも1つの供給原料の少なくとも1つのボクセルのエネルギーまたは質量に対応する。いくつかの実施形態では、工程(c)は、3D物体または少なくとも1つの供給原料のエネルギーまたは質量を計算することをさらに含む。いくつかの実施形態では、工程(c)は、3D物体または少なくとも1つの供給原料のエネルギーまたは質量をコンピュータメモリに記憶することをさらに含む。いくつかの実施形態では、工程(d)は、3D物体または少なくとも1つの供給原料の質量を制御することを含む。いくつかの実施形態では、工程(d)は、3D物体の印刷中に堆積速度または質量流量を制御することを含む。いくつかの実施形態では、加熱はジュール加熱である。

10

20

【0023】

別の態様では、本開示は、三次元(3D)物体を印刷するためのシステムであって、印刷中に3D物体を支持するための導電性基部と、導電性基部に固定され、印刷中に3D物体が固定される少なくとも1つのシートと、少なくとも1つの供給原料を通して導電性基部に、またはその逆に電流が流れると、少なくとも1つの供給原料を加熱するように構成された少なくとも1つのコントローラと、を備えるシステムを提供する。いくつかの実施形態では、3D物体を印刷するためのシステムは、少なくとも1つの供給原料を分配するための多軸ロボットアーム上に少なくとも1つの印刷ヘッドをさらに備える。いくつかの実施形態では、多軸ロボットアームは、6軸または7軸ロボットアームである。いくつかの実施形態では、3D物体を印刷するためのシステムは、3D物体の少なくとも1つの層を成形するための1つ以上の先端をさらに備える。いくつかの実施形態では、成形は機械的操作を含む。いくつかの実施形態では、3D物体を印刷するためのシステムは、堆積中または堆積後に少なくとも1つの供給原料の一部を切断するためのカッタをさらに備える。

30

【0024】

いくつかの実施形態では、3D物体を印刷するためのシステムは、3D物体の少なくとも1つの特性を測定するための1つ以上のセンサをさらに備える。いくつかの実施形態では、1つ以上のセンサは、導電性基部の外部にある。いくつかの実施形態では、1つ以上のセンサは、カメラ、赤外線センサ、光検出器、光高温計、発光分光分析装置、重量測定、熱電対、サーミスタ、周波数応答分析器、磁力計、ガスフローセンサ、加速器、接触力センサ、位置センサ、電気エネルギーセンサ、電気抵抗センサ、インダクタンスセンサおよび静電容量センサからなる群から選択される。いくつかの実施形態では、導電性基部は、回転シリンダまたはターンテーブルである。

40

【0025】

いくつかの実施形態では、少なくとも1つのシートは、導電性基部の形態をとる。いくつかの実施形態では、少なくとも1つのシートは、金属メッシュ、箔およびフィルムからなる群から選択される1種以上を含む。いくつかの実施形態では、少なくとも1つのシートは、少なくとも1つの供給原料に付着する材料から形成される。いくつかの実施形態では、少なくとも1つのシートは、3D物体の一部を形成する。いくつかの実施形態では、少なくとも1つのシートは、真空を使用して導電性基部上に固定される。

50

【0026】

いくつかの実施形態では、導電性基部は、真空用の穴を備える。いくつかの実施形態では、真空は、熱の流れ、または電流の流れを変化させるために変更される。いくつかの実施形態では、少なくとも1つのシートは、導電性基部に非磁氣的に固定される。いくつかの実施形態では、導電性基部は、熱電対およびヒータカートリッジ用の穴を備える。いくつかの実施形態では、3D物体の少なくとも一部を印刷するためのツール経路は、3D物体の少なくとも1つの堆積パラメータを制御することによって調整される。いくつかの実施形態では、少なくとも1つの堆積パラメータは、抵抗、接触力、少なくとも1つの供給原料の形状、3D物体の少なくとも一部の形状、少なくとも1つの供給原料の位置、3D物体の少なくとも一部の位置、フィードおよび導電性基部の位置、フィードおよび前層の位置、印刷中に使用される供給原料の量、印刷の電気エネルギー出力、電流、電圧、電気抵抗パラメータ、少なくとも1つの供給原料、または3D物体の少なくとも一部のインダクタンス、ならびに少なくとも1つの供給原料、または3D物体の少なくとも一部の静電容量からなる群から選択される1種以上を含む。いくつかの実施形態では、少なくとも1つのシートは、導電性基部に取り外し可能に固定される。

10

【0027】

別の態様では、本開示は、基部に隣接する三次元(3D)物体を印刷するための方法であって、(a)コンピュータメモリ内に3D物体の計算表現を受け取ること、(b)印刷ヘッドを使用して、(i)フィードを介して少なくとも1つの供給原料を基部に導き、(ii)少なくとも1つの供給原料を通して基部に、またはその逆に電流を流すことによって、3D物体の印刷を開始すること、(c)少なくとも1つの供給原料を通して基部に、またはその逆に電流が流れると、少なくとも1つの供給原料を加熱すること、ここで、この加熱は、少なくとも1つの供給原料の少なくとも一部を溶融するのに十分であり、(d)3D物体の計算表現に従って、基部に隣接する少なくとも1つの供給原料の少なくとも一部の少なくとも1つの層を堆積させ、それにより、3D物体を印刷すること、および(e)1つ以上の先端を使用して少なくとも1つの層を成形すること、を含む方法を提供する。いくつかの実施形態では、3D物体を印刷するための方法は、工程(d)および(e)を1回以上繰り返して、基部に隣接する少なくとも1つの供給原料または少なくとも1つの他の供給原料の(1または複数の)追加部分を堆積および成形することをさらに含む。いくつかの実施形態では、3D物体を印刷するための方法は、(e)に続いて、少なくとも1つの層に対する1つ以上の先端の相対位置を変化させることをさらに含む。

20

30

【0028】

いくつかの実施形態では、工程(e)は、3D物体の印刷後に行われる。いくつかの実施形態では、工程(d)は、少なくとも1つの層を堆積させた後、少なくとも1つの供給原料の少なくとも一部を切断することを含む。いくつかの実施形態では、工程(e)は、少なくとも1つの供給原料の少なくとも一部の少なくとも1つの層を機械加工することをさらに含む。いくつかの実施形態では、機械加工は、コンピュータ数値制御機械加工、ミル仕上げ、研磨ブラッシングおよび研磨からなる群から選択される1種以上の使用を含む。いくつかの実施形態では、3D物体の印刷および機械加工は、同じ装置内で行われる。いくつかの実施形態では、成形は機械的操作を含む。いくつかの実施形態では、成形は、圧力、熱、電力およびガス量からなる群から選択される1つ以上のパラメータの変化によって行われる。いくつかの実施形態では、基部は、既存の3D物体または導電性基部である。いくつかの実施形態では、1つ以上の先端は、塗抹先端または再溶融先端である。

40

【0029】

本開示は、1つ以上の供給原料を利用し、3D構造物の製造を可能にする制御された方法で、金属物体を1層ずつ製造するための方法およびシステムを提供する。1つ以上の供給原料は、例えば、(1)ワイヤ、リボンもしくはシート、(2)複数のワイヤ、リボンもしくはシート、または(3)ワイヤ、リボンおよびシートのうちの2つ以上の組合せ(例えば、ワイヤとリボンとの組合せ)を含み得る。このような方法およびシステムは、原料として金属粉末を使用しなくてもよく、過剰な熱を必要としなくてもよく、凝固のため

50

の時間のかかる非経済的な焼結工程を必要としなくてもよく、精度、分離度および部品形状を改善することができる。

【0030】

金属供給原料は、1つ以上の元素金属（例えば、合金）、または金属および少なくとも1つの非金属を含む複合材料を含み得る。使用される供給原料の量は、製造される物体を形成するのに必要な量であり、粉末ベースの技術に関連する廃棄および/または回収プロセスの大部分（全部ではないが）を排除してもよい。供給原料は、固体構造物が製造される正確な点に配置されるため、さらに容易に取り扱われ得、さらに迅速な製造を可能にする。供給原料は、供給原料を通してプラットフォームもしくは前層に入る電流の流れを介して、製造プラットフォームとの、または製造される構造物の前層との接触時に加熱され、接点で溶滴（または「セグメント」）を形成してもよい。流れは、電流のパルスを含み得る。溶滴は適所に付着し、部品の1層ずつの製造を可能にし得る。有利には、単一の溶融/堆積工程が必要とされ、金属セグメントを互いに接合するための別個の焼結工程の必要性が不要になり得る。さらに、電流は、製造プラットフォームとの、または製造される構造物の前層との接触時に供給原料を通して流れ、それにより、供給原料（および製造される構造物）の加熱を最小限に抑え、供給原料先端での電気アークの形成を防止するほか、最小の熱により供給原料を溶融し得る。

10

【0031】

本開示の方法およびシステムは、有利には、隣接するセグメント間（すなわち、供給原料の先端と、製造プラットフォームとの、または製造される構造物の前層との間）の接点で、融合のために正確に熱が必要とされる場所で、熱を発生させることを可能にする。これにより、レーザ加熱技術で利用される場所よりも適切な場所で迅速に熱を発生させることが可能になり得る。そのような熱の発生は、低い熱時定数を含み得る。他の例では、そのような熱の発生により、全体的な処理が高速化し、周囲のセグメントの不要な加熱のリスクがなくなり、多くの異なる金属および合金を使用することができるようになり得る。また、安全上の懸念が軽減される可能性があり、構築領域は、典型的に、比較的低い温度に維持される。

20

【0032】

本開示の方法およびシステムは、アーク溶接（GMAW）技術、抵抗スポット溶接（RSW）技術およびコンピュータ支援製造（CAM）技術などの既存のアプローチに固有の問題を解決する。本開示の実施形態は、金属供給原料の電極および供給源の両方、すなわち、抵抗に起因して供給金属および母材を加熱し溶融させる電流として、不活性ガスシールドおよび微細供給原料電極を利用し、コンピュータ制御インターフェースを介して供給原料電極の運動を三次元で制御し、材料が適切な形状に堆積することを可能にすることができる。これらの機能により、様々な金属および金属合金のいずれかを使用して、安全上の懸念を最小限に抑えながら、低コストで3D金属構造物を製造することが可能になる。

30

【0033】

本開示は、導電性基板上に三次元金属構造物を1層ずつ製造する方法を提供する。構造物の第1の層は、基板上に複数の金属セグメントを堆積させることによって形成される。各金属セグメントは、(i) 基部と接触するように供給原料を配置し、(ii) 供給原料および基部に電流を通すことによって堆積される。供給原料の一部が溶融して、基板上に金属セグメントが形成される。構造物の1つ以上の後続の層は、構造物の第1の層の上に複数の金属セグメントを堆積させることによって形成される。各金属セグメントは、(i) 先に堆積された金属セグメントと接触するように供給原料を配置し、(ii) 供給原料、先に堆積された金属セグメント、および基部に電流を通すことによって堆積される。供給原料の一部が溶融して、先に堆積された金属セグメント上に金属セグメントが形成され得る。

40

【0034】

金属セグメントの堆積中に、供給原料の少なくとも先端の上にガスを流してもよい。ガスは、堆積中の金属セグメントの酸化を低減するか実質的に防止し得る。ガスは、堆積中

50

の金属セグメントの冷却速度を増加させ得る。各金属セグメントの堆積後、1つ以上の機械式アクチュエータ（例えば、リニアモータ、サーボドライブ、ステップモータ、ソレノイドなど）を用いて、供給原料と基部との相対位置を変化させてもよい。供給原料は、1つ以上の金属を含み得る。いくつかの例では、供給原料は、鋼、ステンレス鋼、鉄、銅、金、銀、コバルト、クロム、ニッケル、チタン、白金、パラジウム、チタンおよびアルミニウムからなる群から選択される1つ以上の金属を含む。供給原料は、少なくとも1つの金属および少なくとも1つの非金属（例えば、半導体）を含み得る。供給原料は、少なくとも1つの金属および少なくとも1つのポリマー材料を含み得る。少なくとも1つのポリマー材料は、熱硬化性ポリマー樹脂を含み得るか、ポリアリールエーテルケトン（PAEK）、ポリエーテルエーテルケトン（PEEK）、ポリエーテルケトンケトン（PEKK）、ポリエチレン（PE）、ポリエーテルイミド（PEI）、ポリエーテルスルホン（PES）、ポリスルホン（PSU）、ポリフェニルスルホン（PPSU）、ポリフェニレンオキシド（PPO）、アクリロニトリルブタジエンスチレン（ABS）、ポリ乳酸（PLA）、ポリグリコール酸（PGA）、ポリアミドイミド（PAI）、ポリスチレン（PS）、ポリアミド（PA）、ポリブチレンテレフタレート（PBT）、ポリ（p-フェニレンスルフィド（PPS）、ポリエーテルスルホン（PESU）、ポリフェニレンエーテルおよびポリカーボネート（PC）であり得る。供給原料は、少なくとも1つの繊維材料、例えば、炭素、カーボンナノチューブおよび/またはグラフェンを含む繊維などを含み得る。そのような繊維は補強を提供し得る。

10

【0035】

20

構造物の少なくとも一部の密度または多孔性は、(i)供給原料と基部または下地セグメントとの間の隣接する接点間の間隔を変化させること、(ii)供給原料と基部との間に印加される電流の大きさを変化させること、および/または(iii)各層の各部分に供給される供給原料の量を変化させることによって制御されてもよい。三次元構造物の計算表現（例えば、モデル設計）が記憶されてもよい。連続層に対応するデータのセットが計算表現から抽出されてもよく、形成工程のそれぞれがデータに従って行われてもよい。少なくとも1つの金属セグメントのサイズは、そこからの供給原料の後退速度を制御することにより（例えば、堆積中および/または堆積後に）選択されてもよい。他の例では、少なくとも1つの金属セグメントのサイズは、フィードへの供給原料の挿入の量および/または速度を制御することにより（例えば、堆積中および/または堆積後に）選択されてもよい。供給原料が溶融して金属セグメントのうちの少なくとも1つが形成される前に、供給原料の外側部分が取り外されてもよい。構造物の第1の層および1つ以上の後続の層を形成するために利用される供給原料の量が、追跡および/または記憶されてもよい。金属セグメントは、供給原料の先端での抵抗（すなわち、供給原料の先端と下地構造物、例えば、基部、下地セグメントまたは隣接ボクセルとの接触から生じる抵抗）から少なくとも部分的に（例えば、供給原料の先端での抵抗に実質的に完全に起因して）生じる熱にตอบสนองして形成されてもよい。

30

【0036】

本開示は、供給原料を溶融することによって形成されたセグメントから三次元金属構造物を1層ずつ製造するための装置を提供する。装置は、製造中に構造物を支持するための導電性基部と、基部上に供給原料を分配するための供給原料供給機構と、基部と供給原料供給機構との相対位置を制御するための1つ以上の機械式アクチュエータと、供給原料が金属セグメントを放出するのに（例えば、供給原料とそれに接触する物体、例えば、基部との間の抵抗から生じる熱を介して）十分な電流を供給原料と基部との間に印加するための電源と、1つ以上のアクチュエータおよび電源を制御して、連続的に放出される金属セグメントから基部上に三次元金属構造物を作成するための回路とを含むか、それらから本質的になる。

40

【0037】

回路は、1つ以上の機械式アクチュエータおよび/または電源を制御するためのコンピュータベースのコントローラを含むか、それから本質的になってもよい。コンピュータベ

50

ースのコントローラは、コンピュータメモリおよび3Dレンダリングモジュールを含むか、それらから本質的になってもよい。コンピュータメモリは、三次元構造物の計算表現を記憶してもよい。3Dレンダリングモジュールは、計算表現から、連続層に対応するデータのセットを抽出してもよい。コントローラは、データに従って、機械式アクチュエータおよび電源に連続層堆積金属セグメントを形成させてもよい。供給原料は、供給原料供給機構内に配置されてもよい。

【0038】

本開示は、導電性基板上に三次元金属構造物を1層ずつ製造する方法を提供する。基板上に複数の金属セグメントを堆積させることによって、犠牲ラフト構造物(sacrificial raft structure)が形成される。各金属セグメントは、(i)基部と接触するように第1の供給原料を配置し、(ii)第1の供給原料および基部に電流を通すことによって堆積される。第1の供給原料の一部が溶融して、基板上に金属セグメントが形成される。構造物の第1の層は、犠牲ラフト構造物上に複数の金属セグメントを堆積させることによって形成される。各金属セグメントは、(i)犠牲ラフト構造物と接触するように第2の供給原料を配置し、(ii)第2の供給原料、犠牲ラフト構造物および基部に電流を通すことによって堆積される。第2の供給原料の一部が溶融して、犠牲ラフト構造物上に金属セグメントが形成される。構造物の1つ以上の後続の層は、構造物の第1の層の上に複数の金属セグメントを堆積させることによって形成される。各金属セグメントは、(i)先に堆積された金属セグメントと接触するように第2の供給原料を配置し、(ii)第2の供給原料、先に堆積された金属セグメント、犠牲ラフト構造物、および基部に電流を通すことによって堆積される。第2の供給原料の一部が溶融して、先に堆積された金属セグメント上に金属セグメントが形成される。

10

20

【0039】

犠牲ラフト構造物の密度および/または多孔性は、構造物の密度および/または多孔性よりも低くてよい。犠牲ラフト構造物は、そこを通る1つ以上の開口部を画定してもよい。犠牲ラフト構造物は、複数の層を含むか、それらから本質的になるか、それらからなってもよい。犠牲ラフト構造物の層のうちの少なくとも1つの厚さは、構造物の層のうちの少なくとも1つの厚さよりも大きくてよい。犠牲ラフト構造物の層のうちの少なくとも1つの厚さは、構造物の全部の層の厚さよりも大きくてよい。犠牲ラフト構造物の最下層(すなわち、基部と直接接触している犠牲ラフト構造物の層)の厚さは、構造物の層のうちの少なくとも1つ、またはさらには全部の層の厚さよりも大きくてよい。構造物の製造後、犠牲ラフト構造物は基部から取り外されてもよく、構造物の少なくとも一部が犠牲ラフト構造物上に残っていてもよい。犠牲ラフト構造物が基部から取り外された後、犠牲ラフト構造物が構造物から分離されてもよい。第1および第2の供給原料は、異なる材料(例えば、異なる金属)を含むか、それらから本質的になるか、それらからなってもよい。第1および第2の供給原料は、同じ材料(例えば、同じ金属)を含むか、それから本質的になるか、それらからなってもよい。金属セグメントは、供給原料の先端での抵抗(すなわち、供給原料の先端と下地構造物、例えば、基部、ラフトまたは下地セグメントとの接触から生じる抵抗)から少なくとも部分的に(例えば、供給原料の先端での抵抗に実質的に完全に起因して)生じる熱に応答して形成されてもよい。

30

40

【0040】

本開示の別の態様は、支持体上、または支持体上に先に堆積された層上に三次元(3D)物体を1層ずつ印刷するための方法であって、コンピュータメモリ内に3D物体の計算表現を受け取ること、3D物体の計算表現を受け取った後、供給原料が支持体と、または支持体上に先に堆積された層と接触するまで、フィードの開口部を通して少なくとも1つの供給原料を導くこと、電源を使用して、少なくとも1つの供給原料を通して、支持体に、または支持体上に先に堆積された層に電流を流すこと、電流が少なくとも1つの供給原料を通して、支持体に、または支持体上に先に堆積された層に流れると、少なくとも1つの供給原料および支持体をジュール加熱に供すること、ここで、このジュール加熱は、少なくとも1つの供給原料の一部を溶融させるのに十分であり、支持体上、または支持体上

50

に先に堆積された層上に、少なくとも1つの供給原料の一部を堆積させて、少なくとも1つの供給原料の一部を含む層を生成すること、ならびに少なくとも1つの供給原料の1つ以上の追加の層を堆積するために、供することおよび堆積させることを1回以上繰り返すこと、を含む方法を提供する。

【0041】

本開示の別の態様は、少なくとも1つの供給原料の供給源と、形成中に3D物体を支持するように構成された支持体と、供給源からフィーダの開口部を通して支持体に、または支持体上に先に堆積された層に少なくとも1つの供給原料を導くように構成されたフィーダと、少なくとも1つの供給原料を通して、支持体に、または支持体上に先に堆積された層に電流の流れを供給するように構成された電源と、電源に動作可能に結合されたコントローラとを備える、支持体上、または支持体上に先に堆積された層上に三次元(3D)物体を1層ずつ印刷するためのシステムであって、コントローラが、(i)コンピュータメモリ内に3D物体の計算表現を受け取り、(ii)3D物体の計算表現を受け取った後、供給原料が支持体と、または支持体上に先に堆積された層と接触するまで、フィーダの開口部を通して少なくとも1つの供給原料を導き、(iii)電源を使用して、少なくとも1つの供給原料を通して、支持体に、または支持体上に先に堆積された層に電流を流し、(iv)支持体上、または支持体上に先に堆積された層上に、少なくとも1つの供給原料の一部が堆積して、少なくとも1つの供給原料の一部を含む層を生成するように、電流が少なくとも1つの供給原料を通して、支持体に、または支持体上に先に堆積された層に流れると、少なくとも1つの供給原料をジュール加熱に供し、ここで、このジュール加熱は、少なくとも1つの供給原料の一部を溶融させるのに十分であり、(v)(iv)を1回以上繰り返すことにより、支持体上の少なくとも1つの供給原料の(1または複数の)追加部分の堆積を導いて、少なくとも1つの供給原料の1つ以上の追加の層を堆積するように構成されるシステムを提供する。

10

20

【0042】

本開示の様々な教示によれば、金属供給原料を利用して制御された方法で金属物体を1層ずつ製造し、3D構造物の製造を可能にしてもよい。フィーダを通過する全部の供給原料を印刷される物体に使用し、粉末ベースの技術に関連する廃棄および/または回収プロセスの大部分を排除してもよい。供給原料は比較的容易に取り扱われ得る。部品の少なくとも一部のニアネットシェイプが印刷されてもよい。

30

【0043】

供給原料は、電流を介して、製造プラットフォームとの、または製造される構造物の前層との接触時に加熱され、接点で溶融セグメントを形成してもよい。溶滴は適所に付着し、部品の1層ずつの製造を可能にし得る。場合によっては、単一の溶融/堆積工程が必要とされ、金属セグメントを互いに接合するための別個の焼結工程の必要性が不要になり得る。

【0044】

さらに、電流は、製造プラットフォームとの、または製造される構造物の前層との接触時に供給原料に印加され、それにより、供給原料(および製造される構造物)の加熱を最小限に抑え、供給原料先端での電気アークの形成を防止し得る。本開示の教示は、供給原料を溶融するためにジュール加熱を利用する。ジュール加熱は、急速かつ効率的な金属加熱機構であり、これにより、印刷速度を大幅に向上させることが可能になり得る。

40

【0045】

本開示では、隣接するセグメント間(すなわち、供給原料の先端と、製造プラットフォームとの、または製造される構造物の前層との間)の接点で熱を発生させてもよい。このような場所は、融合に熱が必要とされる場所と一致する。これは、レーザ加熱技術で利用されるよりも低い入熱をもたらす。この低い入熱のため、周囲のセグメントを加熱することなく、全体的な処理を高速化することが可能になり得る。ジュール加熱の使用は、多くの異なる金属および合金に適用可能であり得る。また、安全上の懸念も軽減され、構築領域は、典型的に、比較的低い温度に維持され得る。

50

【 0 0 4 6 】

本開示はまた、供給原料の位置、供給原料の供給速度、および供給原料を通過する電流を正確に測定および制御し、印刷プロセス全体の正確かつ精密な制御を可能にするフィードバックユニットを提供する。他の例では、供給原料として様々な金属を使用してもよく、印刷される部品を複数の金属から作製することができるように、部品の作成中に供給原料を変更してもよい。

【 0 0 4 7 】

不活性ガスシールドおよび供給原料電極は、金属供給原料の電極および供給源の両方、すなわち、接触抵抗に起因して供給金属および母材を加熱し溶融させる電流として使用され得る。そのような組合せは、コンピュータ制御インターフェースを介して金属線電極および/または供給原料の運動を三次元で制御し、材料が所望の形状に堆積することを可能にすることができる。これらの機能により、様々な金属および金属合金のいずれかを使用して、安全上の懸念を最小限に抑えながら、低コストで3D金属構造物を製造することが可能になり得る。一態様では、本開示は、導電性基部上に三次元金属構造物を1層ずつ製造する方法を提供する。構造物の第1の層は、基部上に複数の金属セグメントを堆積させることによって形成されてもよい。各金属セグメントは、(i)基部と接触するように供給原料を配置し、(ii)供給原料および基部に電流を通すことによって堆積させることができる。供給原料の一部が溶融して、基部上に金属セグメントが形成され得る。構造物の1つ以上の後続の層は、構造物の第1の層の上に複数の金属セグメントを堆積させることによって形成され得る。各金属セグメントは、(i)先に堆積された金属セグメントと接触するように供給原料を配置し、(ii)供給原料、先に堆積された金属セグメント、および基部に電流を通すことによって堆積させることができる。供給原料の一部が溶融して、先に堆積された金属セグメント上に金属セグメントが形成され得る。

【 0 0 4 8 】

場合によっては、金属セグメントの堆積中に、供給原料の少なくとも先端の上にガスを流してもよい。ガスは、堆積中の金属セグメントの酸化を低減するか実質的に防止し得る。ガスは、堆積中の金属セグメントの冷却速度を増加させ得る。各金属セグメントの堆積後、1つ以上の機械式アクチュエータ(例えば、ステップモータ、ソレノイドなど)を用いて、供給原料と基部との相対位置を変化させてもよい。供給原料は、ワイヤの形で入手可能な任意の金属または複数の金属を含むか、それらから本質的になるか、それらからなってもよい。供給原料は、ワイヤ、リボンおよびシートからなる群から選択されてもよい。

【 0 0 4 9 】

構造物の少なくとも一部の多孔性は、(i)供給原料と基部または下地セグメントとの間の隣接する接点間の間隔を変化させること、(ii)供給原料と基部との間に印加される電流の大きさを変化させること、および/または(iii)構造物の各部分に供給される供給原料の量を変化させることによって制御されてもよい。三次元構造物の計算表現が記憶されてもよい。連続層に対応するデータのセットが計算表現から抽出されてもよく、形成工程のそれぞれがデータに従って行われてもよい。少なくとも1つの金属セグメントのサイズは、そこからの供給原料の後退速度を制御することにより(例えば、堆積中および/または堆積後に)選択されてもよい。供給原料が溶融して金属セグメントのうちの少なくとも1つが形成される前に、供給原料の外側部分が取り外されてもよい。構造物の第1の層および1つ以上の後続の層を形成するために利用される供給原料の量が、追跡および/または記憶されてもよい。金属セグメントは、供給原料の先端でのジュール加熱から少なくとも部分的に(例えば、供給原料の先端でのジュール加熱に実質的に完全に起因して)生じる熱に応答して形成され得る。例えば、電流は、供給原料の先端を通過して、基部または下地セグメントなどの下地構造物に流れてもよい。

【 0 0 5 0 】

別の態様では、本開示は、供給原料を溶融することによって形成されたセグメントから三次元金属構造物を1層ずつ製造するための装置を提供する。装置は、製造中に構造物を

支持するための導電性基部と、基部上に供給原料を分配するための供給原料供給機構と、基部と供給原料供給機構との相対位置を制御するための1つ以上の機械式アクチュエータと、供給原料の先端を溶融するのに十分な量で基部を流れる電流を印加するための電源と、1つ以上のアクチュエータおよび電源を制御して、連続的に放出される金属セグメントから基部上に三次元金属構造物を作成するための回路とから構成され得る。溶融は、供給原料先端の電気抵抗と相互作用する電流から、すなわち、供給原料と物体との間の接触から生じる熱に起因し得る。物体は基部であってよい。

【0051】

装置は、様々な組合せのいずれかで以下のうちの1つ以上を含み得る。回路は、1つ以上の機械式アクチュエータおよび/または電源を制御するためのコンピュータベースのコントローラを含むか、それから本質的になってもよい。コンピュータベースのコントローラは、コンピュータメモリおよび3Dレンダリングモジュールを含むか、それらから本質的になってもよい。コンピュータメモリは、三次元構造物の計算表現を記憶してもよい。3Dレンダリングモジュールは、計算表現から、連続層に対応するデータのセットを抽出してもよい。コントローラは、データに従って、機械式アクチュエータおよび電源に連続層堆積金属セグメントを形成させてもよい。供給原料は、供給原料供給機構内に配置されてもよい。

10

【0052】

本開示はまた、導電性基部上に三次元金属構造物を1層ずつ製造する方法を提供する。基部上に複数の金属セグメントを堆積させることによって、犠牲ラフト構造物が形成されてもよい。犠牲ラフトは、印刷された3D物体とは別個の部品であってよい。別個の部品は、シリンダまたはプレートであってよい。各金属セグメントは、(i)基部と接触するように第1の供給原料を配置し、(ii)第1の供給原料および基部に電流を通すことによって堆積され得る。第1の供給原料の一部が溶融して、基部上に金属セグメントが形成され得る。構造物の第1の層は、犠牲ラフト構造物上に複数の金属セグメントを堆積させることによって形成され得る。各金属セグメントは、(i)犠牲ラフト構造物と接触するように第1の供給原料または第2の供給原料を配置し、(ii)第1の供給原料または第2の供給原料、犠牲ラフト構造物および基部に電流を通すことによって堆積され得る。第1または第2の供給原料の一部が溶融して、犠牲ラフト構造物上に金属セグメントが形成され得る。構造物の1つ以上の後続の層は、構造物の第1の層の上に複数の金属セグメントを堆積させることによって形成され得る。各金属セグメントは、(i)先に堆積された金属セグメントと接触するように第1の供給原料または第2の供給原料を配置し、(ii)第1の供給原料または第2の供給原料、先に堆積された金属セグメント、犠牲ラフト構造物、および基部に電流を通すことによって堆積され得る。第1の供給原料または第2の供給原料の一部が溶融して、先に堆積された金属セグメント上に金属セグメントが形成され得る。

20

30

【0053】

場合によっては、犠牲ラフト構造物の密度および/または多孔性は、構造物の密度および/または多孔性よりも低くてよい。犠牲ラフト構造物は、そこを通る1つ以上の開口部を画定してもよい。犠牲ラフト構造物は、複数の層を含むか、それらから本質的になるか、それらからなってもよい。犠牲ラフト構造物の層のうちの少なくとも1つの厚さは、構造物の層のうちの少なくとも1つの厚さよりも大きくてよい。犠牲ラフト構造物の層のうちの少なくとも1つの厚さは、構造物の全部の層の厚さよりも大きくてよい。犠牲ラフト構造物の最下層(すなわち、基部と直接接触している犠牲ラフト構造物の層)の厚さは、構造物の層のうちの少なくとも1つ、またはさらには全部の層の厚さよりも大きくてよい。構造物の製造後、犠牲ラフト構造物は基部から取り外されてもよく、構造物の少なくとも一部が犠牲ラフト構造物上に残っていてもよい。犠牲ラフト構造物が基部から取り外された後、犠牲ラフト構造物が構造物から分離されてもよい。

40

【0054】

第1および第2の供給原料は、異なる材料(例えば、異なる金属)を含むか、それらか

50

ら本質的になるか、それらからなってもよい。供給原料は、少なくとも1つのタイプの材料（例えば、金属）を含み得る。第1および第2の金属供給原料は、同じ材料（例えば、同じ金属）を含むか、それから本質的になるか、それからなってもよい。金属セグメントは、供給原料の先端でのジュール加熱から少なくとも部分的に（例えば、供給原料の先端でのジュール加熱に実質的に完全に起因して）生じる熱に応答して形成され得る。熱は、供給原料の先端と、それが直接接触している下地構造物とを流れる電流から生じ得る。下地構造物は、基部、ラフトまたは下地セグメントであってよい。

【0055】

本開示の別の態様は、1つ以上のコンピュータプロセッサによる実行時に、本明細書の上記または他の場所の方法のいずれかを実装する機械実行可能コードを備える非一時的コンピュータ可読媒体を提供する。

10

【0056】

本開示の別の態様は、1つ以上のコンピュータプロセッサと、それに連結されたコンピュータメモリとを備えるシステムを提供する。コンピュータメモリは、1つ以上のコンピュータプロセッサによる実行時に、本明細書の上記または他の場所の方法のいずれかを実装する機械実行可能コードを備える。

【0057】

本開示のさらなる態様および利点は、本開示の例示的な実施形態のみが示され説明される以下の詳細な説明から当業者には容易に明らかになるであろう。理解されるように、本開示は、他の異なる実施形態が可能であり、そのいくつかの詳細は、いずれも本開示から逸脱することなく、様々な明白な点で変更可能である。したがって、図面および説明は、本質的に例示的であり、限定的ではないとみなされるべきである。

20

【0058】

参照による組み込み

本明細書中で言及されるすべての刊行物、特許および特許出願は、個々の刊行物、特許または特許出願が参照により組み込まれることが具体的かつ個別に示されているのと同程度に参照により本明細書に組み込まれる。参照により組み込まれる刊行物および特許または特許出願が本明細書に含まれる開示と矛盾する限り、本明細書は、そのようないかなる矛盾する資料よりも優先され、および/または上位にあることが意図される。

【0059】

本発明の新規な特徴は、添付の特許請求の範囲に詳細に記載されている。本発明の特徴および利点の良好な理解は、本発明の原理を利用した例示的な実施形態を説明している以下の詳細な説明、および添付の図面（同じく本明細書中の「図（Figure）」および「図（FIG）」）を参照することによって得られるであろう。

30

【図面の簡単な説明】

【0060】

【図1】本開示の様々な実施形態による積層造形装置の概略図である。

【図2A】本開示の様々な実施形態による三次元物体の製造中の金属セグメントの堆積の概略図である。

【図2B】本開示の様々な実施形態による三次元物体の製造中の金属セグメントの堆積の概略図である。

40

【図2C】本開示の様々な実施形態による三次元物体の製造中の金属セグメントの堆積の概略図である。

【図2D】本開示の様々な実施形態による三次元物体の製造中の金属セグメントの堆積の概略図である。

【図2E】本開示の様々な実施形態による三次元物体の製造中の金属セグメントの堆積の概略図である。

【図2F】本開示の様々な実施形態による三次元物体の製造中の金属セグメントの堆積の概略図である。

【図2G】本開示の様々な実施形態による三次元物体の製造中の金属セグメントの堆積の

50

概略図である。

【図 3】本開示の様々な実施形態による、異なるセグメント分離度の領域を有する印刷された三次元物体の概略図である。

【図 4 A】本開示の様々な実施形態による、低い多孔性を有するように印刷されたセグメントの概略図である。

【図 4 B】本開示の様々な実施形態による、高い多孔性を有するように印刷されたセグメントの概略図である。

【図 5 A】本開示の様々な実施形態による、供給原料からのセグメントの堆積を概略的に示す。

【図 5 B】本開示の様々な実施形態による、供給原料からのセグメントの堆積を概略的に示す。

【図 5 C】本開示の様々な実施形態による、供給原料からのセグメントの堆積を概略的に示す。

【図 5 D】本開示の様々な実施形態による、異なる供給原料後退速度を使用して堆積された異なるサイズのセグメントを概略的に示す。

【図 5 E】本開示の様々な実施形態による、異なる供給原料後退速度を使用して堆積された異なるサイズのセグメントを概略的に示す。

【図 5 F】本開示の様々な実施形態による、異なる供給原料後退速度を使用して堆積された異なるサイズのセグメントを概略的に示す。

【図 6】本開示の様々な実施形態による機械式供給原料追跡システムの概略図である。

【図 7】本開示の様々な実施形態による光学供給原料追跡システムの概略図である。

【図 8】本開示の様々な実施形態による妨害防止機構の概略図である。

【図 9 A】本開示の様々な実施形態による、基部と印刷された部品との間に印刷された犠牲構造物の概略平面図である。

【図 9 B】本開示の様々な実施形態による、基部と印刷された部品との間に印刷された犠牲構造物の概略平面図である。

【図 9 C】本開示の様々な実施形態による、基部上の犠牲構造物に印刷された部品の概略断面図である。

【図 10 A】本開示の様々な実施形態による、基部からの犠牲構造物および印刷された部品の取り外しの概略図である。

【図 10 B】本開示の様々な実施形態による、印刷された部品からの犠牲構造物の取り外しの概略図である。

【図 11】本明細書で提供される方法を実装するようにプログラムまたは構成されるコンピュータシステムの例を示す。

【図 12】本開示の様々な実施形態による、金属積層堆積を平行化するための原料の使用の概略図である。

【図 13】本開示の様々な実施形態による、印刷プロセスにおけるノードの堆積のためのサブシステムの概略図である。

【図 14】本開示の様々な実施形態による、供給原料のための切断ツールの概略図である。

【図 15】本開示の様々な実施形態による、シートスプールを小さなシートに切断するためのサブシステムの概略図である。

【図 16】本開示の様々な実施形態による、レーザアレイによってリボンがシートから切断されるサブシステムの概略図である。

【図 17】本開示の様々な実施形態による、電流を制御するための並列回路設計の概略図である。

【図 18】本開示の様々な実施形態による、未使用の金属をパージするためのサブシステムの概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0061】

10

20

30

40

50

本明細書では本発明の様々な実施形態を示し説明してきたが、そのような実施形態は例としてのみ提供されていることが当業者には明らかであろう。当業者であれば、本発明から逸脱することなく、多数の変形例、変更および置換を思い浮かべることができる。本明細書に記載される本発明の実施形態の様々な代替物を使用することができることを理解されたい。

【0062】

本明細書で使用される場合、単数形「a」、「an」および「the」は、文脈が明らかにかに他のことを指示しない限り、複数の言及を含む。本明細書における「または」へのいかなる言及も、特に明記しない限り、「および/または」を包含することを意図している。

10

【0063】

本明細書で使用される場合、用語「三次元物体」（また「3D物体」）は、一般に、3D印刷によって印刷される物体または部品を指す。3D物体は、比較的大きな3D物体の少なくとも一部または3D物体の全体であり得る。

【0064】

用語「少なくとも」、「を超える」または「以上」が一連の2つ以上の数値のうち最初の数値の前にある場合はいつでも、用語「少なくとも」、「を超える」または「以上」は、その一連の数値のうち各数値に適用される。例えば、1、2または3以上は、1以上、2以上または3以上に相当する。

20

【0065】

用語「以下（no more than）」、「未満（less than）」または「以下（less than or equal to）」が一連の2つ以上の数値のうち最初の数値の前にある場合はいつでも、用語「以下（no more than）」、「未満（less than）」または「以下（less than or equal to）」は、その一連の数値のうち各数値に適用される。例えば、3、2または1以下は、3以下、2以下または1以下に相当する。

【0066】

三次元印刷は、制御された方法で（例えば、自動制御下で）、材料層を順次追加するか、材料層または材料層の一部を接合して3D部品または3D構造物を形成することを含み得る。三次元印刷は、1つ以上の材料層の取り外しを含み得る。

30

【0067】

図1は、3D構造物を1層ずつ製造するために使用され得る装置100（例えば、堆積装置）を示す。装置100は、1つ以上のアクチュエータ110（例えば、ステッパモータなどのモータ）を介して5つまたは6つの制御軸（例えば、XYZ平面のうち1つ以上）のうち1つ以上で運動することができる機械式ガントリ105を含む。図示されるように、装置100はまた、装置内に供給原料120を配置し、供給原料120への電気接続を提供し、供給源125（例えば、スプール）から装置に供給原料120を連続的に供給する供給原料フィーダ115を含む。供給原料は、金属線、リボンまたはシートであってよい。場合によっては、供給原料は、粒子または複数の粒子（例えば、粉末）であってよい。基部130はまた、装置の内部に配置されてもよく、電気接続を提供する。基部130の垂直運動は、アクチュエータ135（例えば、ステッパモータなどのモータ）を介して制御され得る。基部は基板であってよい。基部は、3D部品の先に堆積された少なくとも一部であってよい。電源140は、供給原料120および基部130に接続し、それらの間の電気接続を可能にし得る。ガントリ105の運動および供給原料フィーダ115の運動は、コンピュータベースの制御システム（または「コントローラ」）145によって制御されてもよい。電源140からの電流および電圧の印加、ならびに電流および電圧の電力レベルおよび持続時間は、コントローラ145によって制御されてもよい。電流は、供給原料120と基部130または基部130上のもしくは基部130に隣接する別の層との間の接触時に、供給原料120を通して流れてもよい。例えば、電源140は、供給原料120と基部130との間に電圧差をもたらしてもよい。供給原料120が基部

40

50

130と接触すると、電流が供給原料120から基部130に、またはその逆に流れてもよい。

【0068】

供給原料は、1つ以上の金属を含み得る。供給原料は、1つ以上の金属線であり得る。供給原料は、ワイヤ、リボンおよびシートからなる群から選択されてもよい。場合によっては、供給原料は様々な金属を含み得る。供給原料は、少なくとも1つのタイプの金属を含み得る。供給原料は、鋼、ステンレス鋼、ツール鋼、鉄入り銅、金、銀、コバルト、クロム、ニッケル、チタン、白金、パラジウム、チタンおよびアルミニウムからなる群から選択される1つ以上の金属を含み得る。供給原料は、超合金などの合金を含み得る。超合金は、耐久性、強度、溶融、熱変形に対する耐性、安定性および/または酸化に対する耐性など、他の合金と比較して強化された材料特性を提供する元素の組合せであってよい。超合金は、クロムコバルト、ハステロイ、インコネル、ワスバロイ、レン合金 (rene alloy)、ヘインズ合金、インコロイ、MP98T、TMS合金およびCMSX単結晶合金からなる群から選択されてもよい。

10

【0069】

供給原料は、前もって形成されていても、前処理されていてもよい。垂直に下向きにかつ表面に垂直に切断または押下することによって、供給原料にノッチを加えてもよい。ノッチングの方法は、チューブノッチング、エンドノッチングまたはサイドノッチングを含み得る。

【0070】

場合によっては、印刷前または印刷中に、洗浄構成要素を使用して、供給原料フィードに供給する前に不純物を除去して、供給原料を洗浄してもよい。洗浄構成要素は、供給原料の周りに加熱プロファイルを作成して不純物の蒸発を促進するためのヒータを備えてもよい。具体的には、供給原料が洗浄構成要素に入ってもよく、供給原料の外面が加熱されて、残留物が蒸発し、清浄な表面を有する供給原料を供給してもよい。洗浄構成要素は、供給原料を還元するために使用されてもよい。供給原料は、1つ以上のワイヤであり得る。

20

【0071】

供給原料または基部は、不純物および酸化物を除去するためにシールドガスによって洗浄されてもよい。シールドガスは、供給原料または基部表面が、大気中に存在する水素、酸素および窒素に曝露されるのを防止し得る。シールドガスを使用して、大気中、供給原料から、および/または3D物体から不純物を化学的に還元、酸化または除去してもよい。例えば、水素 (H_2) または別の還元剤を使用して酸素と反応させて、3D物体および/または供給原料上に存在し得る任意の金属酸化物を還元または排除してもよい。別の例として、酸素を使用して、3D物体および/または供給原料上に存在し得る任意の炭素と反応させてもよい。シールドガスは、水素、窒素、アルゴン、ヘリウム、二酸化炭素および酸素からなる群から選択される1種以上であり得る。場合によっては、シールドガスは、不活性ガス (例えば、アルゴンまたはヘリウム) と、約40%以下、約35%以下、約30%以下、約25%以下、約20%以下、約15%以下、約10%以下、約5%以下、約4%以下、約3%以下、約2%以下、約1%以下もしくはそれ以下の別のガス、例えば、二酸化炭素 (CO_2)、一酸化炭素 (CO)、水素 (H_2) もしくは酸素 (O_2) などとの、またはそのような他のガスの組合せとの混合物 (例えば、Arと H_2 および CO_2 の最大1%混合物) であってよい。場合によっては、シールドガスは、不活性ガス (例えば、アルゴンまたはヘリウム) と、少なくとも約1%、少なくとも約2%、少なくとも約3%、少なくとも約4%、少なくとも約5%、少なくとも約10%、少なくとも約15%、少なくとも約20%、少なくとも約25%、少なくとも約30%、少なくとも約35%、少なくとも約40%、少なくとも約50%もしくはそれ以上の別のガス、例えば、二酸化炭素 (CO_2)、一酸化炭素 (CO)、水素 (H_2) もしくは酸素 (O_2) などとの、またはそのような他のガスの組合せとの混合物 (例えば、Arと H_2 および CO_2 の少なくとも1%混合物) であってよい。

30

40

50

【 0 0 7 2 】

本開示の実施形態によるコントローラ 1 4 5 は、例えば、コンピュータメモリ 1 5 0 および 3 D レンダリングモジュール 1 5 5 を含み得る。3 D 構造物の計算表現は、コンピュータメモリ 1 5 0 に記憶され得、3 D レンダリングモジュール 1 5 5 は、計算表現（例えば、3 D 構造部のモデル設計）から 3 D 構造部の連続層に対応するデータのセットを抽出し得る。コントローラ 1 4 5 は、機械式アクチュエータ 1 1 0、1 3 5、供給原料供給機構 1 1 5 および電源 1 4 0 を制御して、データに従って連続層堆積金属セグメントを形成してもよい。

【 0 0 7 3 】

本開示の方法およびシステムによるコントローラ 1 4 5 は、処理ユニット（または「コンピュータプロセッサ」）1 6 0 と、システムメモリ 1 5 0 と、システムメモリ 1 5 0 を含む様々なシステム部品を処理ユニット 1 6 0 に結合するシステムバス 1 6 5 とを含むコンピュータの形の汎用コンピューティングデバイスを含むか、それから本質的になってもよい。コンピュータは、典型的には、システムメモリ 1 5 0 の一部を形成し、処理ユニット 1 6 0 によって読み取られ得る様々なコンピュータ可読媒体を含む。限定ではなく例として、コンピュータ可読媒体は、コンピュータ記憶媒体および/または通信媒体を含み得る。システムメモリ 1 5 0 は、読み取り専用メモリ（ROM）およびランダムアクセスメモリ（RAM）などの揮発性および/または不揮発性メモリの形のコンピュータ記憶媒体を含み得る。起動中などに要素間で情報を転送するのに役立つ基本ルーチンを含む基本入出力システム（BIOS）が ROM に記憶されてもよい。RAM は、処理ユニット 1 6 0 に直ちにアクセス可能な、および/または処理ユニット 1 6 0 によって現在処理されているデータおよび/またはプログラムモジュールを含み得る。データまたはプログラムモジュールは、オペレーティングシステム、アプリケーションプログラム、他のプログラムモジュール、およびプログラムデータを含み得る。オペレーティングシステムは、様々なオペレーティングシステム、例えば、Microsoft WINDOWS オペレーティングシステム、Unix オペレーティングシステム、Linux オペレーティングシステム、Xenix オペレーティングシステム、IBM AIX オペレーティングシステム、Hewlett Packard UX オペレーティングシステム、Novell NETWARE オペレーティングシステム、Sun Microsystems SOLARIS オペレーティングシステム、OS/2 オペレーティングシステム、BeOS オペレーティングシステム、MACINTOSH オペレーティングシステム、APACHE オペレーティングシステム、OPENSTEP オペレーティングシステム、またはプラットフォームの別のオペレーティングシステムであるか、それらを含み得る。

【 0 0 7 4 】

本明細書に記載の機能を過度の実験を伴わず実装するために、任意の好適なプログラミング言語が使用されてもよい。具体的には、使用されるプログラミング言語には、例えば、アセンブリ言語、Ada、APL、Basic、C、C++、C*、COBOL、dBase、Forth、FORTRAN、Java、Modula-2、Pascal、Prolong、Python、REXX および/または JavaScript が含まれ得る。さらに、本開示のシステムおよび技術の動作とともに、単一のタイプの命令またはプログラミング言語を利用する必要はない。むしろ、所望に応じて、任意の数の様々なプログラミング言語が利用されてもよい。

【 0 0 7 5 】

コンピューティング環境はまた、他の取り外し可能/取り外し不可能な揮発性/不揮発性コンピュータ記憶媒体を含み得る。例えば、ハードディスクドライブは、取り外し不可能な不揮発性磁気メディアに対して読み取りまたは書き込みを行い得る。磁気ディスクドライブは、取り外し可能な不揮発性磁気ディスクから読み取り、またはそれに書き込みを行ってもよく、光ディスクドライブは、CD-ROM または他の光学媒体などの取り外し可能な不揮発性光ディスクから読み取り、またはそれに書き込みを行ってもよい。動作環境で使用することができる他の取り外し可能/取り外し不可能な揮発性/不揮発性コンピ

10

20

30

40

50

ユーザ記憶媒体には、限定するものではないが、磁気テープカセット、フラッシュメモリカード、デジタル多用途ディスク、デジタルビデオテープ、ソリッドステートRAM、ソリッドステートROMなどが含まれる。記憶媒体は、取り外し可能または取り外し不可能なメモリアンターフェースを介してシステムバスに接続されてもよい。

【0076】

コマンドおよび命令を実行する処理ユニット160は、汎用コンピュータプロセッサであってよいが、専用ハードウェア、マイクロコンピュータ、ミニコンピュータ、メインフレームコンピュータ、プログラム化マイクロプロセッサ、マイクロコントローラ、周辺集積回路要素、CSIC（顧客特定集積回路（Customer Specific Integrated Circuit））、ASIC（特定用途向け集積回路）、論理回路、デジタル信号プロセッサ、プログラマブル論理デバイス、例えば、FPGA（フィールドプログラマブルゲートアレイ）、PLD（プログラマブル論理デバイス）、PLA（プログラマブル論理アレイ）、RFIDプロセッサ、スマートチップ、または本開示の実施形態のプロセスの工程を実装することができる任意の他のデバイスもしくはデバイスの配列を含む多種多様な他の技術のいずれかを利用してよい。

10

【0077】

一態様では、本開示は、少なくとも1つの供給原料を1層ずつ追加して、3D物体の少なくとも一部を堆積（例えば、印刷）するためのシステムを提供する。システムは、少なくとも1つの供給原料を通して基部に電流が流れると、少なくとも1つの供給原料を加熱することによって、3D物体の少なくとも一部を形成するように構成され得る。加熱は、抵抗加熱（例えば、ジュール加熱）であり得る。システムは、基部を通して少なくとも1つの供給原料に電流が流れると、少なくとも1つの供給原料を加熱することによって、3D物体の少なくとも一部を形成するように構成することができる。

20

【0078】

システムは、堆積中に3D物体の少なくとも一部を支持するための基部を備え得る。基部は、導電性基部であってよい。基部は基板であってよい。基部は、3D物体の先に堆積された少なくとも一部であってよい。基部は、シリンダまたはターンテーブルなどの回転基板であってよい。他の例では、基部は支持材料であってよい。支持材料は取り外し可能であってよい。基部は、3D物体の少なくとも一部を印刷している間、x軸、y軸およびz軸に沿って回転または移動してもよい。基部は、x位置、y位置およびz位置に基部を移動させるように、x軸モータ、y軸モータまたはz軸モータのうちの1つ以上によって制御されてもよい。

30

【0079】

基部は、1つ以上のセンサおよび/または加熱要素を備え得る。センサは基部の外部に配置されてもよい。基部は、センサおよび加熱要素用の穴を備え得る。加熱要素は、加熱カートリッジであってよい。1つ以上のセンサは、熱電対、高温計、放射温度計、サーマルイメージャ、赤外線温度計、ラインスキャナ、光ファイバ温度センサ、カメラ、赤外線センサ、光検出器、光高温計、発光分光分析装置、サーミスタ、周波数応答分析器、磁力計、ガスフローセンサ、加速器、接触力センサ、重量測定、位置センサ、電気エネルギーセンサ、電気抵抗センサ、インダクタンスセンサおよび静電容量センサからなる群から選択されてもよい。場合によっては、基部は、3D物体の少なくとも一部の材料と比較して、延性が高く、降伏強度が低い材料を含み得る。場合によっては、基部は、3D物体の少なくとも一部の材料と比較して、弾性係数が低く、破損までの歪みが大きい材料を含み得る。基部は、3D物体の少なくとも一部の材料と融合することができる材料を含み得る。場合によっては、3D物体の少なくとも一部を接地し、クランプまたはプローブなどの装置を使用して構築プレートに固定してもよい。

40

【0080】

基部は、堆積プロセスによって、連続した（1または複数の）部品を構築するために再利用されてもよい。場合によっては、基部は、基部を再画定するために各構築後に取り外され得る上部層であり得るか、それを備え得る。場合によっては、基部の上部の厚さおよ

50

び/または構造は、少なくとも約 1、約 2、約 3、約 4、約 5、約 10、約 15、約 20 またはそれ以上の構築を可能にするように配置されてもよい。場合によっては、基部の上部の厚さおよび/または構造は、約 30 以下、約 20 以下、約 15 以下、約 10 以下、約 5 以下、約 4 以下、約 3 以下、約 2 以下または約 1 以下の構築を可能にするように配置されてもよい。場合によっては、約 100 ミリメートル (mm) 以下、約 50 mm 以下、約 25 mm 以下、約 20 mm 以下、約 15 mm 以下、約 10 mm 以下、約 9 mm 以下、約 8 mm 以下、約 7 mm 以下、約 6 mm 以下、約 5 mm 以下、約 4 mm 以下、約 3 mm 以下、約 2 mm 以下、約 1 mm 以下またはそれ以下の厚さを基部の上部からミリングするか、他の方法で取り外して、各構築後に構築表面を再画定してもよい。場合によっては、少なくとも約 1 mm、少なくとも約 2 mm、少なくとも約 3 mm、少なくとも約 4 mm、少なくとも約 5 mm、少なくとも約 6 mm、少なくとも約 7 mm、少なくとも約 8 mm、少なくとも約 9 mm、少なくとも約 10 mm、少なくとも約 15 mm、少なくとも約 20 mm、少なくとも約 25 mm、少なくとも約 50 mm、少なくとも約 100 mm またはそれ以上の厚さを基部の上部からミリングするか、他の方法で取り外して、各構築後に構築表面を再画定してもよい。

10

【0081】

基部から構築材料を除去することにより、先の構築中に塑性変形した可能性のある任意の材料を除去してもよい。このプロセスでは、基部上に弾性変形した材料が残り得る。したがって、基部表面の材料特性または機械的特性が回復され得る。

20

【0082】

場合によっては、基部は支持体であってよい。支持体は、3D 物体の少なくとも一部とは異なる材料を含み得る。場合によっては、支持体は、3D 物体の少なくとも一部と同じ材料を含み得る。支持体は、印刷温度よりも高い沸点を有し得る。この場合、支持体は、印刷温度では蒸発しない場合がある。場合によっては、支持体は、導電率に対して好ましい融点を有し得、導電性および熱伝導性が高くてもよい。支持材料はまた、印刷金属中では溶解性が限られていてもよく、印刷供給原料を脆化させて、反りなどの望ましくない特性を誘発し得ない。支持材料は、体心立方 (BCC)、面心立方 (FCC) および六方最密充填 (HCP) からなる群から選択される 1 つ以上の結晶構造を有し得る。例えば、マグネシウムなどの金属は、望ましい電気的および熱的特性、印刷材料への低い溶解性、ならびに取り外しの容易さを示すため、支持材料として使用されてもよい。表 1 は、様々な印刷材料および支持材料ならびにそれらの特性の例を示している。

30

【表 1】

表 1 印刷材料および潜在的な支持材料の例示的な例。

印刷材料	熔融温度	結晶構造	支持材料	支持体の取り外し
ER70S-6	1427°C	BCC(910 °C では FCC)	Mo(BCC)、 Mg(HCP)	電気化学、溶解、熔融
SS308	1450°C	FCC	Mo(BCC)、 Mg(HCP)	電気化学、溶解、熔融
Ti-6Al-4V	1640°C	HCP	Co(HCP)、 Fe(BCC)、 Mg(HCP)	電気化学、溶解、熔融
AA6061	630°C	FCC	Mo(BCC)、 Co(HCP)、 Mg(HCP)	電気化学、溶解
Cu(99.9+)	1085°C	FCC	Co(HCP)、 Mg(HCP)	電気化学、溶解、熔融

40

場合によっては、3D 物体の少なくとも一部は、熔融、溶解、電気分解、電気化学的取り外し、機械的取り外しまたは非機械的取り外しからなる群から選択される 1 つ以上の方法によって、基部から取り外されてもよい。例えば、金属間層が印刷材料と基部との間に

50

形成される場合、機械的取り外しを使用して、脆性金属間層を破壊してもよい。場合によっては、3D物体の少なくとも一部は、機械的取り外しに適した部分を含み得る。場合によっては、適切な温度まで冷却すると、3D物体の少なくとも一部から材料を機械的または化学的に取り外さずに、3D物体の少なくとも一部が取り外され得る。

【0083】

場合によっては、システムは、基部に固定され、印刷中に3D物体が固定される少なくとも1つのシートを備え得る。シートは、少なくとも1つの供給原料材料に付着する材料を含み得る。シートは3D物体の一部になり得る。例えば、システムは、ヒートシンクの基部の上部にフィンを印刷してもよい。シートは基部の形をとってもよい。場合によっては、シートは、金属メッシュ、箔およびフィルムからなる群から選択される1種以上を含み得る。シートがメッシュである場合、メッシュは一連のワイヤを含み得る。ワイヤは、ワイヤが互いの上で個々にスライドすることができるように一緒に織られる管状ワイヤであってよい。シートは、完成した構成要素が基部から容易に取り外されることを可能にするように、可鍛性または変形可能な材料であってよい。取り外しの方法は、剥離または引き裂きであってよい。場合によっては、シートは、厚さが約10,000マイクロメートル(ミクロン)以下、約5000ミクロン以下、約1000ミクロン以下、約750ミクロン以下、約500ミクロン以下、約250ミクロン以下、約200ミクロン以下、約150ミクロン以下、約100ミクロン以下、約50ミクロン以下またはそれ以下であり得る。場合によっては、シートは少なくとも約25ミクロンであり得る。場合によっては、少なくとも1つのシートは、基部に磁氣的に固定されてもよい。場合によっては、少なくとも1つのシートは、基部に非磁氣的に固定されてもよい。例えば、シートは、脚、レール、ばね、クイックラッチおよびリリース機構または真空を使用して固定されてもよい。

10

20

【0084】

シートは、真空圧を加えることにより、基部に固定されてもよい。例えば、基部は、真空を適用することができるチャンネルまたは穴を備えてもよい。シートは、真空を保持するのに適切な厚さおよび平面度を必要とし得る。真空圧は、システムの構築チャンバ内の雰囲気に関して低下させてもよい。この状況では、基部に接続されたシートは、圧力差によって適所に保持され得る。真空を使用して基部にシートを固定することは、真空圧を様々な速度で適用および除去し、シートの瞬間的かつ効率的な交換をもたらすことができるという点で有利であり得る。真空を変更して、熱の流れ、または電流の流れを変化させてもよい。少なくとも1つのシートは、導電性基部に取り外し可能に固定されてもよい。

30

【0085】

システムは、少なくとも1つの供給原料を分配するための少なくとも1つの多軸ロボットアームに接続された少なくとも1つの堆積ヘッドをさらに備え得る。印刷ヘッドは、基部に接触していなくてもよい。多軸ロボットアームは、印刷ヘッドを動作させ、1つ以上の平面および/または配向で供給原料を堆積させることを可能にし得る。多軸ロボットアームは、少なくとも1つの供給原料を分配するための6軸または7軸ロボットアームであり得る。6軸の操作は、非平面材料堆積経路をもたらす、基部または支持材料を使用しない製造を可能にし得る。印刷ヘッドは、1つ以上の方向(例えば、x軸、y軸、z軸)から材料を加えてもよい。3自由度(または3軸)X Y Zを採用してもよく、この場合、3D物体は、一度に1つの層で構築され得る。さらに、印刷中にx軸、y軸またはz軸を中心に物体を回転させてもよい。場合によっては、印刷ヘッドは、3D物体の少なくとも一部の表面上の任意の点に、任意の方向からセグメントを堆積させてもよい。

40

【0086】

場合によっては、3Dプリンタは、3D物体の少なくとも1つの特性を測定するための1つ以上のセンサを備え得る。1つ以上のセンサは、基部の外部にあってもよい。センサは基部内にあってもよい。1つ以上のセンサは、カメラ、赤外線センサ、光検出器、光高温計、発光分光分析装置、熱電対、サーミスタ、周波数応答分析器、磁力計、ガスフローセンサ、加速器、接触力センサ、位置センサ、電気エネルギーセンサ、電気抵抗センサ、インダクタンスセンサ、静電容量センサおよび重量測定からなる群から選択され得る。周波数

50

応答分析器を使用して、インピーダンスを測定することができる。磁力計を使用して、磁場を測定することができる。加速器を使用して、振動を測定することができる。プロセスおよびオフプロセスで1つ以上のセンサを使用してもよい。

【0087】

別の態様では、本開示は、基部に隣接する3D物体を堆積（例えば、印刷）するための方法を提供する。コンピュータメモリでは、3D物体の計算表現を受け取ってもよい。堆積ヘッド（例えば、印刷ヘッド）を使用して、（i）フィードを通して少なくとも1つの供給原料を基部に導き、（ii）少なくとも1つの供給原料を通して基部に電流を流すことにより、3D物体の堆積を開始してもよい。次に、少なくとも1つの供給原料を通して基部に電流が流れると、少なくとも1つの供給原料が加熱されてもよい。加熱は、少なくとも1つの供給原料の少なくとも一部を溶融するのに十分であり得る。加熱は、抵抗加熱（例えば、ジュール加熱）であり得る。場合によっては、ジュール加熱を使用して3D物体を堆積する方法は、ジュール印刷と呼ばれ得る。場合によっては、3D物体の計算表現に従って、基部に隣接して少なくとも1つの層を堆積し、それにより3D物体を堆積してもよい。場合によっては、1つ以上の先端を使用して、少なくとも1つの供給原料の少なくとも一部の少なくとも1つの層を成形してもよい。成形は、機械的操作を含み得る。成形は、切断など、材料の除去を含み得る。堆積および成形のプロセスは、基部に隣接する少なくとも1つの供給原料の（1または複数の）追加部分を堆積および成形するために1回以上繰り返されてもよい。成形に続いて、少なくとも1つの層に対して、1つ以上の先端の相対位置を変化させてもよい。場合によっては、3D物体の印刷後に成形が行われてもよい。成形は、圧力、熱、電力および空気量からなる群から選択される1つ以上のパラメータの変化によって行われ得る。場合によっては、堆積の工程は、少なくとも1つの層の堆積中または堆積後の供給原料の切断を含み得る。基部は、修復を必要とする既存の3D物体、新たに印刷された部品の前の層、または導電性構築プレートであってよい。

10

20

【0088】

場合によっては、3D物体の少なくとも1つの層を成形するために、堆積ヘッドに（例えば、同時にまたは異なる時間に）1つ以上の先端を結合してもよい。1つ以上の先端は、印刷ヘッドの外部に結合され得る。場合によっては、どの時点でも印刷ヘッドに1つ以上の先端を取り付けることができる。さらに、そのような先端は使い捨てであり得る（例えば、自動または手動で処分される）。1つ以上の先端は、交換可能な堆積先端であり得る。そのような先端は、所定の順序およびパターンに従って3D物体を形成するために、3D物体の少なくとも一部を様々な形状またはサイズで構築表面上に堆積するために選択的に使用され得る。場合によっては、1つ以上の先端は、異なるサイズまたは形状に機械的、電子的、手動または磁氣的に調整することができる。1つ以上の先端の例には、限定するものではないが、整形リップ、押圧先端、しごき先端および/またはしごきプレートが含まれ得る。先端は、基部に沿って少なくとも1つの供給原料材料を圧縮してもよい。1つ以上の先端は、印刷ヘッドから出る3D物体の少なくとも一部を押圧してもよい。そのような先端は、先に堆積された1つ以上の層を圧縮してもよい。1つ以上の先端を使用して、印刷後または印刷中に供給原料を整形してもよい。供給原料材料（例えば、溶融した供給原料材料）の機械的操作は、3D物体の少なくとも一部に対する圧力、熱および電力ならびに強制ガスを変化させることによって達成されてもよい。

30

40

【0089】

場合によっては、1つ以上の先端は、塗抹先端または再溶融先端であってよい。先端は、3D物体の少なくとも一部が熱い間にそれを塗り付けるトレーリングヘッドであってよい。場合によっては、3D物体を同時に印刷し平滑化するか、印刷してから平滑化することができる。堆積中または堆積後に少なくとも1つの供給原料の一部を切断するために、成形前、成形中および/または成形後にカッタを使用してもよい。

【0090】

場合によっては、成形プロセスは機械的操作を含み得る。成形工程は、少なくとも1つの供給原料の少なくとも一部の少なくとも1つの層の機械加工を含み得る。機械加工は、

50

研削、研磨、ラッピング、ホーニング、放電加工、リソグラフィ、工業用エッチング、コンピュータ数値制御機械加工、ミル仕上げ、研磨プラスチック、レーザテクスチャリング加工および研磨からなる群から選択される1つ以上のプロセスを含み得る。3D物体の堆積および機械加工は、同じ装置内で完了され得る。場合によっては、完成した3D物体は所定の撚りを備え得る。撚りは、機械加工プロセスによって決定される主要な表面パターンの方向であってよい。撚りは、垂直、水平、放射状、クロスハッチング、円形、等方性またはそれらの組合せであってよい。

【0091】

本開示の実施形態は、図2A～図2Fに示すように、供給原料の溶融先端に形成された金属セグメントを介して金属構造物を形成する。図示されるように、3D構造物の形成は、典型的には、供給原料120から基部130上に溶融された単一のセグメント200の堆積により始まる。セグメント200および後続のセグメントは、任意の形態を有し得る。場合によっては、セグメントは実質的に球形であってよい。追加のセグメント205、210が、先に堆積されたセグメントに隣接して1つずつ堆積され、各新しいセグメントの形成からの熱が、隣接するセグメントを部分的に溶融し、それらを互いに融合させる。構造物の単一層上で互いに隣接する全部のセグメントが堆積されると、溶融したセグメント200、205、210の前層の上部に対して、セグメント215、220、225の堆積が1つずつ開始される。堆積は、構造物全体が完成するまで、この方法で1層ずつ続行される。場合によっては、堆積されたセグメントは、ボクセルではなく、図2Gに示すように線形セグメントであり得る。構造物の各層は、構造物の形状に応じて、異なる数のセグメントを含み得、上にある層のセグメントは、下にある層のセグメントの上部に直接堆積される必要はない場合がある(ただし、様々な実施形態では、直接堆積される必要がある場合がある)。場合によっては、供給原料は、様々なパターンに従って基部上で絶縁または伝導され得る。

10

20

【0092】

セグメントの直径は、各層の高さを決定し得るため、構造物を形成し得る分離度に少なくとも部分的に影響を与える可能性がある。層の高さは、プロセスの分離度に影響を与える可能性がある。垂直方向の分離度、例えば、層の厚さまたは層の高さは、プリンタが1回の通過で製造するセグメントの最小厚さであり得る。セグメントの厚さが薄いほど、印刷面が滑らかになり得る。場合によっては、分離度は、セグメント直径および/またはX軸およびY軸上の印刷ヘッドの移動の精度の要因であり得る。水平方向の分離度、例えば、XY分離度は、堆積ヘッドがX軸およびY軸上の層内で行うことができる最小の移動であり得る。移動が小さいほど、精巧な細部が堆積され得る。

30

【0093】

セグメントの直径は、供給原料120の直径、および堆積パラメータ(例えば、現在のレベル)を変化させることによって変化させてもよく、したがって、構造物の分離度は、プロセス中に動的に制御されてもよい。場合によっては、分離度を高くすると構造物の形成に必要な時間が増加し得、分離度を低くすると時間を短縮することができる。したがって、図3に示すように、3D物体のセクションは、高い分離度を有するように製造して、機械的な許容範囲を厳密に保持するか、視覚的に魅力を高めてもよく、他のセクションは、低い分離度で製造して、堆積速度を増加させてもよい。図3は、高分離度部分310によって少なくとも部分的に囲まれた低分離度部分305から構成される印刷された構造物300を示す。図示されるように、低分離度部分305は、複数の比較的大きなセグメント315を含むか、それらから本質的になるのに対して、高分離度部分310は、複数の比較的小さなセグメント320を含むか、それらから本質的になる。部分305、310は、その溶融中にセグメント間に残っている、空間から生じるセグメント間の細孔325を含み得る。

40

【0094】

図4Aおよび図4Bに示すように、製造された3D構造物の多孔性は、隣接するセグメント間の間隔および/または融合の程度によって、少なくとも部分的に決定され得る。図

50

4 A は、密接に互いに融合し、比較的小さな多孔性領域 4 0 0 (完成した部品では、その中の細孔の少なくとも一部であり得る) によって示される比較的小さな多孔性がもたらされた 2 つのセグメントを示し、図 4 B は、比較的少ない程度に互いに融合し、比較的大きな多孔性領域 4 1 0 によって示される比較的高い多孔性がもたらされた 2 つのセグメントを示す。堆積パラメータは、主に、堆積中に発生する熱の量によって、セグメント間の融合の程度を決定するために変化させられ得る。熱が増加すると、セグメント間の融合が大きくなり、多孔性が一般に低くなる。十分な熱が発生すると、結果として得られる構造物は多孔性を実質的に有しない可能性があり、これは特定の機械的特性を達成するのに適切である場合がある。逆に、熱が少ないと融合が少なくなり得、多孔性が高くなり得る。多孔性が高い構造物は、典型的には、完全に密な構造物よりも低い重量を有し得る。熱量は堆積中に動的に制御され得るため、3 D 構造物のセクションは他のセクションよりも多孔性になり得る。例えば、多孔性フィルタは、比較的大きな 3 D 物体の内部通路に含まれてもよい。熱の印加が少なければ、必要とされる時間が少なくなり得るため、その構造物のセクションでは多孔性が適切であるか、許容され得る場合、堆積速度を増加させてもよい。多孔性の高い材料は、典型的には、低い引張強度を有し得るが、優れた圧縮強度を達成し得る。構造物は、圧縮荷重の領域がある程度の多孔性を有するように生成され、堆積速度が速くなり、完成した構造物の重量が低くなり得るように設計されてもよい。多孔性は、溶融プールに加えられる質量の量を制御することによっても制御され得る。

10

【0095】

本開示の方法およびシステムによれば、金属セグメントは、電流を用いて供給原料 1 2 0 の先端を溶融することによって形成される。供給原料 1 2 0 は、実質的に円形、長方形、正方形、卵形断面、もしくは部分的な形状、またはそれらの形状の組合せを有してもよい。供給原料 1 2 0 の直径(または他の横断面寸法)は、堆積の特性に基づいて選択され得るが、一般に、約 0.001 mm ~ 約 1000 mm、または約 0.01 mm ~ 約 100 mm、または約 0.1 mm ~ 約 10 mm、または約 0.1 mm ~ 約 1 mm であり得る。直径(または他の横断面寸法)は、少なくとも約 0.001 mm、少なくとも約 0.01 mm、少なくとも約 0.1 mm、少なくとも約 1 mm、少なくとも約 10 mm、少なくとも約 100 mm、少なくとも約 1000 mm またはそれ以上であり得る。場合によっては、直径(または他の横断面寸法)は、約 1000 mm 以下、約 100 mm 以下、約 10 mm 以下、約 1 mm 以下、約 0.1 mm 以下、約 0.01 mm 以下、約 0.001 mm 以下またはそれ以下であり得る。図 1 に示すように、供給原料 1 2 0 は一方の電極であってよく、装置 1 0 0 の金属基部 1 3 0 は他方の電極であってよい。供給原料 1 2 0 が基部 1 3 0 と物理的に接触している場合、この 2 つはまた電氣的に接触している。微細な供給原料 1 2 0 の小さな表面積、ならびに基部 1 3 0 の表面上および供給原料 1 2 0 の先端上の微視的欠陥のために、供給原料 1 2 0 と基部 1 3 0 との間に電気抵抗が生じる可能性がある。供給原料 1 2 0 と基部 1 3 0 との間の抵抗は、2 つの電極(すなわち、供給原料 1 2 0 および基部 1 3 0)の間を通過する電流が経験する電気抵抗であり、接点にある局所領域は、式 1 (すなわち、ジュールの第一法則)に従って加熱される。

20

30

【0096】

$$Q = I^2 \times R \times t \quad \text{式 1}$$

40

発生する熱(Q)は、供給原料 1 2 0 の先端がセグメントに溶け込み、そのセグメントが隣接するセグメントに融合するのに必要な熱を超えている。熱は、通過する電流の量(I)、供給原料 1 2 0 と基部 1 3 0 との間の抵抗(R)、および電流の印加の持続時間(t)によって決定され得る。(したがって、本開示の方法およびシステムは、電気アークおよび/またはプラズマを使用または生成することなくセグメントを形成するが、むしろ供給原料の抵抗に基づく溶融を利用することができる。)電流および時間(Iおよびt)は、コントローラ 1 4 5 および電源 1 4 0 を介してプロセス中に制御され得る。場合によっては、堆積速度を増加させるために、高電流が短期間(低電流が長期間ではなく)利用される。電流および持続時間は堆積特性に応じて決まるが、これらは一般に、約 10 アンペア(A) ~ 約 2000 A および約 0.01 秒(s) ~ 約 1 s の範囲であり得る。場合に

50

よっては、電流は、少なくとも約 1 A、少なくとも約 2 A、少なくとも約 3 A、少なくとも約 4 A、少なくとも約 5 A、少なくとも約 6 A、少なくとも約 7 A、少なくとも約 8 A、少なくとも約 9 A、少なくとも約 10 A、少なくとも約 20 A、少なくとも約 30 A、少なくとも約 40 A、少なくとも約 50 A、少なくとも約 60 A、少なくとも約 70 A、少なくとも約 80 A、少なくとも約 90 A、少なくとも約 100 A、少なくとも約 200 A、少なくとも約 300 A、少なくとも約 400 A、少なくとも約 500 A、少なくとも約 600 A、少なくとも約 700 A、少なくとも約 800 A、少なくとも約 900 A、少なくとも約 1000 A、少なくとも約 1100 A、少なくとも約 1200 A、少なくとも約 1300 A、少なくとも約 1400 A、少なくとも約 1500 A、少なくとも約 1600 A、少なくとも約 1700 A、少なくとも約 1800 A、少なくとも約 1900 A、少なくとも約 2000 A またはそれ以上であり得る。場合によっては、電流は、約 2500 A 以下、約 2000 A 以下、約 1900 A 以下、約 1800 A 以下、約 1700 A 以下、約 1600 A 以下、約 1500 A 以下、約 1400 A 以下、約 1300 A 以下、約 1200 A 以下、約 1100 A 以下、約 1000 A 以下、約 900 A 以下、約 800 A 以下、約 700 A 以下、約 600 A 以下、約 500 A 以下、約 400 A 以下、約 300 A 以下、約 200 A 以下、約 100 A 以下、約 90 A 以下、約 80 A 以下、約 70 A 以下、約 60 A 以下、約 50 A 以下、約 40 A 以下、約 30 A 以下、約 20 A 以下、約 10 A 以下、約 9 A 以下、約 8 A 以下、約 7 A 以下、約 6 A 以下、約 5 A 以下、約 4 A 以下、約 3 A 以下、約 2 A 以下またはそれ以下であり得る。場合によっては、持続時間は、少なくとも約 0.01 s、少なくとも約 0.02 s、少なくとも約 0.03 s、少なくとも約 0.04 s、少なくとも約 0.05 s、少なくとも約 0.06 s、少なくとも約 0.07 s、少なくとも約 0.08 s、少なくとも約 0.09 s、少なくとも約 0.1 s、少なくとも約 0.2 s、少なくとも約 0.3 s、少なくとも約 0.4 s、少なくとも約 0.5 s、少なくとも約 0.6 s、少なくとも約 0.7 s、少なくとも約 0.8 s、少なくとも約 0.9 s、少なくとも約 1 s またはそれ以上であり得る。場合によっては、持続時間は、約 5 s 以下、約 4 s 以下、約 3 s 以下、約 2 s 以下、約 1 s 以下、約 0.9 s 以下、約 0.8 s 以下、約 0.7 s 以下、約 0.6 s 以下、約 0.5 s 以下、約 0.4 s 以下、約 0.3 s 以下、約 0.2 s 以下、約 0.1 s 以下、約 0.09 s 以下、約 0.08 s 以下、約 0.07 s 以下、約 0.06 s 以下、約 0.05 s 以下、約 0.04 s 以下、約 0.03 s 以下、約 0.02 s 以下、約 0.01 s 以下またはそれ以下であり得る。場合によっては、必要な電流が継続してもよい。溶融したセグメントの第 1 の層が完成した後、基部 130 と電氣的に接触しているセグメントの前層は、第 2 の電極として機能してもよい。プロセスが進むにつれて、供給原料 120 の先端からの金属が利用されてセグメントを形成する際に、1 つの電極（供給原料 120）が消費され得る。

10

20

30

【0097】

消耗供給原料は、電極として使用され得る。供給原料は大きなスプールに保存され、堆積プロセスを継続するために連続的に供給されてもよい。したがって、低コストで容易に入手することができる多くの金属および金属合金の供給原料が存在し得る。堆積された金属を酸化から保護するために、供給原料電極の周囲の領域にわたって不活性ガス（Ar など）または半不活性ガス（N₂ または CO₂ など）を流して、酸素を置換してもよい。例えば、金属が高温であるか、溶融している場合、一定の速度（例えば、堆積プロセス中、約 0.7 m³ / 時間）で連続的にガスを流してもよい。有利には、堆積された金属が冷却する速度を増加させるために、シールド効果をもたらすために必要とされるものを超えて、ガス流量を増加させてもよい。冷却速度も、金属の結果として得られる機械的特性に影響を与える可能性があり、堆積中の動的制御により、構造物のセクションが様々な機械的特性を有するように製造され得る。例えば、構造物の表面に対して高い冷却速度を使用して硬度と耐摩耗性を高めてもよく、内部に対してはそれよりも遅い冷却速度を使用して延性と強度とを維持してもよい。また、ガスを高温に予熱して、構造物の冷却速度をさらに遅くして、延性と強度とを向上させてもよい。

40

【0098】

50

場合によっては、基部電極 130 の材料は、良好な導電性と、堆積されている金属との適合性とのために選択される。基部 130 は、典型的には、非消耗性であり、したがって、損傷されず、通常の動作中に交換する必要がない場合がある。基部材料は、基部材料に対する堆積された金属の弱い付着を可能にするように選択され得るため、堆積された金属の第 1 の層は、その後の堆積中に基部 130 上の適所に構造物をしっかりと保持する。例えば、堆積された金属が鋼である場合、銅、チタンまたはアルミニウムが、基部 130 に適切な材料であり得る。銅およびアルミニウムは、高い導電性を有し得、鋼と合金せず、堆積された金属の組成を変化させ得ず、良好な熱伝導率を有し得るため、堆積領域で発生した熱が迅速に伝導され得、基部 130 を溶融させる危険はない。場合によっては、基部 130 の表面仕上げはわずかに粗くてもよく、その結果、第 1 の層の金属が基部 130 の微細な表面特徴（例えば、擦り傷）に溶け込み、弱い付着を可能にする。基部 130 の表面仕上げは、堆積中に構造物がしっかりと保持されるが、堆積の終了時に妥当な力を使用して基部 130 から完成した構造を取り外し得るように、適切な量の付着を与えるように選択され得る。基部 130 は、堆積金属に適した材料に変更され得るように、容易に交換可能にされてもよい。

10

20

30

40

50

【0099】

堆積されたセグメントの形態は、供給原料 120 の直径、および堆積パラメータによって制御され得る。堆積されたセグメントの直径は、典型的には、供給原料 120 とほぼ同じ直径であり得る。セグメントがまだ溶融している間にセグメントに追加の供給原料 120 を供給することにより、セグメントの直径を大きくしてもよい。セグメントの上部の形状は、例えば、セグメントがまだ溶融している間の供給原料 120 の挿入または後退によって影響を受ける可能性があり、この場合、セグメントの上部は、供給原料の後退によってピークに引き込まれ得る。セグメントが部分的に冷却される場合、供給原料 120 を使用して、セグメントの上部を押圧して、セグメントを平坦化してもよい。セグメント形態のこれらの操作を使用して、構造物の多孔性を変化させてもよい。

【0100】

同様に、図 5 A ~ 図 5 C に示すように、先に堆積されたセグメントからのまだ溶融している供給原料先端の挿入または後退を使用して、供給原料 120 の先端の形態を制御してもよい。本開示の様々な実施形態では、供給原料 120 が迅速に後退すると、先端は鋭利な点に引き込まれる。図 5 A は、供給原料 120 の先端から溶融しているセグメント 500 の最初の形成を示す。図 5 B では、供給原料 120 は、少なくとも部分的にまだ溶融しているセグメント 500 から後退する。図示されるように、供給原料 120 の先端は、ネックダウンし始め、その直径を減少させる。図 5 C は、セグメント 500 から完全に後退し、分離した後の供給原料 120 の鋭利な先端 510 を示す。したがって、後退または挿入までの速度を使用して、供給原料 120 の先端の直径を制御してもよい。先端の直径は、次の堆積のための供給原料 120 の有効径であるため、この制御されたネッキングを使用して、バルク供給原料の直径よりも小さい直径を有するセグメントを堆積させてもよい。このように、供給原料の直径が大きくなると、高い分離度の堆積が可能になる。図 5 D ~ 図 5 F は、前のセグメントを堆積する際の供給原料の後退速度または挿入速度の制御を介して、同じ供給原料を使用して堆積され得る異なるサイズのセグメント 500 を示す。供給原料のネッキングは、移動単位当たりの供給原料の供給量を制限することによっても制御することができる。例えば、供給原料の供給速度を増加させずに X - Y 平面で速く移動させると、堆積物の直径が小さくなり得る。

【0101】

別の態様では、本開示は、基部に隣接する 3D 物体を堆積（例えば、印刷）するための方法を提供する。少なくとも 1 つの堆積パラメータは、3D 物体の計算表現に少なくとも部分的に基づいて計算されてもよい。3D 物体の少なくとも一部は、少なくとも 1 つの供給原料を通して基部に電流が流れると、少なくとも 1 つの供給原料を抵抗加熱（例えば、ジュール加熱）に供することによって印刷され得る。堆積ヘッドおよび少なくとも 1 つの堆積パラメータを使用して、少なくとも 1 つの供給原料を通して基部に、またはその逆に

電流が流れると、少なくとも1つの供給原料を加熱することによって3D物体の堆積を開始してもよい。加熱は、少なくとも1つの供給原料の少なくとも一部を溶融するのに十分であり得る。加熱は、抵抗加熱（例えば、ジュール加熱）であり得る。堆積ヘッドを用いて3D物体を印刷している間に、3D物体または少なくとも1つの供給原料の1つ以上の特性を測定してもよい。さらに、測定された3D物体の1つ以上の特性が、3D物体または少なくとも1つの供給原料の1つ以上の所定の特性を満たすかどうかを決定してもよい。

【0102】

3D物体または少なくとも1つの供給原料の質量またはエネルギーを計算してもよい。3D物体または少なくとも1つの供給原料の質量またはエネルギーは、コンピュータメモリに記憶され得る。少なくとも1つの堆積パラメータは、3D物体の印刷中に測定された3D物体または少なくとも1つの供給原料の1つ以上の特性が1つ以上の所定の特性を満たさないと決定されると調整されて、少なくとも1つの調整された堆積パラメータを生成してもよい。場合によっては、堆積ヘッドおよび少なくとも1つの調整された堆積パラメータを使用して、3D物体を印刷し続けてもよい。

10

【0103】

場合によっては、1つ以上の所定の特性は、3D物体をシミュレーションすることによって生成され得る。シミュレーションは有限要素解析を含み得る。シミュレーションは、3D物体を堆積する前に行われてもよい。少なくとも1つの堆積パラメータは、3D物体が堆積されている間にリアルタイムで調整されてもよい。場合によっては、印刷が停止してもよく、その後、少なくとも1つの堆積パラメータが調整されてもよく、印刷が開始されてもよい。少なくとも1つの供給原料は、金属線またはマルチ金属線であり得る。マルチ金属線は、管状マルチ金属線であり得る。例えば、供給原料は、保持する1つの金属と、管状の形状の別の金属とを含み得る。少なくとも1つの堆積パラメータは、3D物体または少なくとも1つの供給原料のエネルギーまたは質量であり得る。少なくとも1つの堆積パラメータは、3D物体または少なくとも1つの供給原料の少なくとも1つのボクセルのエネルギーまたは質量に対応し得る。

20

【0104】

少なくとも1つの堆積パラメータを調整することは、3D物体または少なくとも1つの供給原料の質量を制御することを含み得る。場合によっては、少なくとも1つの堆積パラメータを調整することは、3D物体の印刷中に堆積速度または質量流量を制御することを含み得る。

30

【0105】

少なくとも1つの堆積パラメータは、3D物体を堆積させるために堆積ヘッドによって使用可能なツール経路軌道またはプロセスパラメータであってよい。3D物体または少なくとも1つの供給原料の1つ以上の特性を測定することは、3D物体が生成されている基部または環境の少なくとも1つの堆積パラメータを測定することを含み得る。そのような測定は、3D物体の1つ以上の特性を測定するために1つ以上のセンサを使用することをさらに含み得る。1つ以上のセンサは、カメラ、赤外線センサ、光検出器、光高温計、発光分光分析装置、熱電対、サーミスタ、周波数応答分析器、磁力計、ガスフローセンサ、加速器、接触力センサ、位置センサ、電気エネルギーセンサ、電気抵抗センサ、インダクタンスセンサ、静電容量センサおよび重量測定からなる群から選択され得る。周波数応答分析器を使用して、インピーダンスを測定してもよい。磁力計を使用して、磁場を測定することができる。加速器を使用して、振動を測定することができる。

40

【0106】

少なくとも1つの堆積パラメータを測定する方法は、光学高温測定、赤外線サーモグラフィ、分光法、レーザ超音波、接触力測定、位置測定、電気エネルギー測定、電気抵抗測定、インダクタンス測定、静電容量測定および重量測定からなる群から選択される1種以上を使用することを含み得る。3D物体の1つ以上の特性は、変調信号、質量、熱質量、少なくとも1つの供給原料の質量流量、チャンバ温度、熱容量、表面温度、電流、電圧、

50

少なくとも1つの供給原料の先端の接触力、および少なくとも1つの供給原料の量からなる群から選択される1種以上を含み得る。このような測定値は、3D印刷プロセスの統計的プロセス制御に使用され得る。場合によっては、測定値は、3D印刷された物体の非破壊評価に使用され得る。変調信号は、パルス幅変調であり得る。少なくとも1つの堆積パラメータは、少なくとも1つの供給原料、または3D物体の少なくとも一部の抵抗、少なくとも1つの供給原料の接触力、少なくとも1つの供給原料の形状、3D物体の少なくとも一部の形状、少なくとも1つの供給原料の位置、3D物体の少なくとも一部の位置、印刷ヘッドおよび基部の位置、堆積ヘッドおよび前層の位置、印刷中に使用される供給原料の量、印刷の電気エネルギー出力、電流、少なくとも1つの供給原料と基部との間に印加される電圧、電気抵抗パラメータ、少なくとも1つの供給原料、または3D物体の少なくとも一部のインダクタンス、ならびに少なくとも1つの供給原料、または3D物体の少なくとも一部の静電容量からなる群から選択される1種以上を含み得る。場合によっては、プロセスパラメータは、3D物体の少なくとも一部の縁部に位置する第1の層またはボクセルの堆積後に調整されてもよい。

10

20

30

40

50

【0107】

場合によっては、堆積装置はフィードバック回路を備え得る。フィードバック回路は、電源の出力レベルを代表するフィードバック信号を生成するために、電源の出力に結合され得る。そのような出力レベルは、電圧、電流、または電圧と電流との両方の組合せであり得る。入力を結合して、閾値を得てもよい。フィードバック信号の影響を受けやすいように、入力を結合してもよい。閾値は、ターンオフ閾値であり得る。場合によっては、堆積装置は、電源レギュレータを備え得る。電源レギュレータは、コンパレータを備え得る。コンパレータの出力は、フィードバック状態信号を含み得る。そのような信号は、制御回路へのデジタルオン信号もしくはデジタルオフ信号またはイネーブル信号として機能し得る。入力信号の値が閾値よりも大きい場合、出力フィードバック状態信号は第1の状態にあり得る。入力信号は、電源の出力レベルに特徴的であり得る。ただし、入力信号の値が閾値よりも小さい場合、出力フィードバック状態信号は第2の状態にあり得る。場合によっては、フィードバック状態信号の第1および第2の状態の一方は論理高値であり得、フィードバック状態信号の第1および第2の状態の他方は論理低値であり得る。フィードバック状態信号は、制御回路によって受け取られるように結合され得る。そのような制御回路は、電源調整の制御を支援し得る。制御回路は、電流制限回路を備えることもできる。電流制限回路は、電力スイッチから電流検知信号を受け取るように結合され得る。電流検知信号は、電力スイッチを通過する電流を示し得る。場合によっては、制御回路は、電源の制御調整を支援するために電流検知信号を備えることもできる。

【0108】

場合によっては、フィードバック信号を使用して、コンパレータの入力を比較することにより、所定の値を上回るまたは下回る出力電源の量を測定してもよい。1つ以上の波形が、制御回路、フィードバック信号、および電源レギュレータのスイッチ電流の内部にある場合がある。そのような波形を変調中に変化させて、少なくとも1つの変調信号を形成してもよい。変化の方法は、アナログ変調方式、デジタル変調方式およびパルス変調方式からなる群から選択されてもよい。アナログ変調方式は、振幅変調、角度変調、両側波帯変調、搬送波を用いた両側波帯変調、両側波帯抑制搬送波伝送 (double-side band suppressed-carrier transmission)、両側波帯低減搬送波伝送 (double-sideband reduced carrier transmission)、単側波帯変調、搬送波を用いた単側波帯変調、単側波帯変調抑制搬送波変調、残留側帯波変調、直交振幅変調、周波数変調、位相変調および転置変調からなる群から選択されてもよい。デジタル変調方式は、位相シフトキーイング (PSK)、バイナリPSK、直交PSK (QPSK)、8PSK、16PSK、差動PSK、差動QPSK、オフセットQPSK、 $\pi/4$ -QPSK、周波数シフトキーイング、可聴周波数シフトキーイング (audio frequency-shift keying)、マルチ周波数シフトキーイング (M-ary FSK)、デュアルトーンマルチ

周波数、振幅シフトキーイング、オンオフキーイング、M - a r y 残留側帯波変調（8 V S B など）、直交振幅変調、極性変調、連続位相変調、最小シフトキーイング、ガウス最小シフトキーイング、連続位相周波数シフトキーイング、直交周波数多重変調、離散マルチトーン、ウェーブレット変調、トレリス符号化変調、スペクトラム拡散技術、ダイレクトシーケンススペクトラム拡散、チャープスペクトラム拡散および周波数ホッピングスペクトラム拡散からなる群から選択される1つ以上の技術であり得る。パルス変調方式は、アナログオーバーアナログ方式（a n a l o g - o v e r - a n a l o g m e t h o d）、パルス振幅変調、パルス幅変調、パルス深度変調（p u l s e - d e p t h m o d u l a t i o n）、パルス位置変調、アナログオーバーデジタル方式（a n a l o g - o v e r - d i g i t a l m e t h o d）、パルス符号変調（P C M）、差動P C M（D P C M）、適応的D P C M、デルタ変調、デルタシグマ変調、連続可変スロープデルタ変調およびパルス密度変調からなる群から選択される1つ以上の技術であり得る。他のタイプの変調技術は、連続波（C W）動作、適応的変調および間隔変調からなる群から選択され得る。

10

20

30

40

50

【0109】

場合によっては、堆積装置は、変調器に結合された状態機械を備える調整回路を備え得る。調整回路はまた、変調器に結合されたコンポーネントを備えることができる。そのようなコンポーネントは、フィードバック信号を送達するように結合され得る。コンポーネントは、変調器から決定された変調信号と、コンパレータの入力へのフィードバック信号とを組み合わせるように結合され得る。その結果、フィードバック信号は、コンポーネントから出力され得、入力の閾値と比較され、変調信号により調整され得る。

【0110】

場合によっては、フィードバック信号は、パルス幅変調（P W M）信号を含み得る。パルス幅変調信号は、3 D 物体の少なくとも一部の表面上の酸化物を分解するために使用されてもよい。P W M 信号は、ローレンツ力を使用して3 D 物体の一部を混合するために使用することができる。結果として得られる交流（A C）電源は、印刷プレートの反りなどの様々な印刷の問題のために抵抗または静電容量が変化するにもかかわらず、一貫性が高い場合がある。P W M 信号は、持続時間当たりの振幅および幅を含み得る。P W M を使用して、持続時間当たりの振幅および幅を変化させてもよい。持続時間を変化させると、波形の構成が変化し得る。構成は、波形の周波数であり得る。P W M は、信号の変化を遅くするのではなく、3 D プリンタのパルスを変化させ得る。P W M は、堆積を混合することができる、時間的に変化する直接的な力を生成することができる。時間変化する力は磁場であり得る。場合によっては、制御ループは電流を含むことができる。電流は、交流または直流であってよい。場合によっては、フィードバック信号は、周期波形またはフーリエ級数であってよい。フィードバック信号は、フーリエ級数を使用して分析され得る。周期波形は、正弦波、方形波、三角波および鋸波からなる群から選択され得る。場合によっては、周期波形はゆっくりと変化し得る。

【0111】

場合によっては、電流の印加の制御を使用して、セグメントの堆積に影響を与えてもよい。堆積前の持続時間とともに電力の強度を選択することによって、印加される電流の開ループ制御が可能になり得る。強度レベルは、一定の抵抗で特定の電圧または電流を達成するように較正されてもよい。しかし、抵抗は、各堆積部位で変化するほか、セグメントの堆積中に変化する可能性がある。開ループ制御により、堆積中の熱の印加が多すぎたり少なすぎたりすることがあり、セグメント間の融合が影響を受ける場合がある。適切な較正を用いて、堆積のために開ループ制御を首尾よく使用してもよい。

【0112】

場合によっては、閉ループ制御が使用される。閉ループ制御中、電圧および電流が堆積中に測定されてもよく、式2（すなわち、オームの法則）に従って抵抗が計算されてもよい。

【0113】

$R = V / I$ 式 2

抵抗は動的に計算され得るため、印加される電流の電力は正確に制御され、その結果、堆積パラメータおよび/またはセグメント特性を達成するために堆積中に正確な熱量が印加され得る。堆積回路のDC電流に加えて、0.001V～1000Vまたは0.01V～100VのAC電圧を印加して、システムのインピーダンス応答を決定してもよい。また、インピーダンスを動的に測定し、フィードバック制御に使用してもよい。閉ループ制御は、セグメントの不完全な融合による不良部品を効果的に排除し、堆積中の構造物への入熱を最小限に抑え得る。

【0114】

場合によっては、電圧を一定に保ち、電流を調整することにより、加熱が行われる。電流は、直流または交流であってよい。あるいは、電流を固定してもよく、電圧を増加させて加熱を誘導してもよい。

【0115】

場合によっては、電圧は、少なくとも約0.001V、少なくとも約0.01V、少なくとも約0.1V、少なくとも約1V、少なくとも約10V、少なくとも約20V、少なくとも約30V、少なくとも約40V、少なくとも約50V、少なくとも約60V、少なくとも約70V、少なくとも約80V、少なくとも約90V、少なくとも約100V、少なくとも約110V、少なくとも約120V、少なくとも約130V、少なくとも約140V、少なくとも約150V、少なくとも約160V、少なくとも約170V、少なくとも約180V、少なくとも約190V、少なくとも約200V、少なくとも約210V、少なくとも約220V、少なくとも約230V、少なくとも約250V、少なくとも約300V、少なくとも約400V、少なくとも約500V、少なくとも約1000Vまたはそれ以上であり得る。場合によっては、電圧は、約2000V以下、約1000V以下、約500V以下、約400V以下、約300V以下、約250V以下、約230V以下、約220V以下、約210V以下、約200V以下、約190V以下、約180V以下、約170V以下、約160V以下、約150V以下、約140V以下、約130V以下、約120V以下、約110V以下、約100V以下、約90V以下、約80V以下、約70V以下、約60V以下、約50V以下、約40V以下、約30V以下、約20V以下、約10V以下、約1V以下、約0.1V以下、約0.01V以下、約0.001V以下またはそれ以下であり得る。

【0116】

堆積の電気回路（すなわち、コントローラ145および電源140を介して基部130および供給原料120によって形成される回路）から測定され得るデータに加えて、追加のセンサを利用して、補足データを収集してもよい。熱電対またはサーミスタなどの接触センサ、ならびに赤外線（IR）センサおよび光学高温測定などの非接触法を使用して、基部130上の堆積部位、または印刷された部品もしくは装置100上の他の点の温度測定値を測定してもよい。次いで、システム制御ループにより温度データを使用して、堆積パラメータを確保してもよい。

【0117】

他のセンサを使用して、構築表面（例えば、基部130、または印刷されている部品のセグメントの先に堆積された層）を測定および/または分析してもよい。ソナーまたは容量応答システムを使用して、表面をマッピングし、仕様のない任意の領域を検出し、修正処置（例えば、多孔性が高い、または材料が欠落している領域に対する追加のセグメント堆積などの再加工）を可能にしてもよい。また、フィードバック制御のために収集された全データをログに記録し、次いで、ネットワークレベルで分析して、接続された任意の装置100の機能を改善するための自動較正プロセスを開発してもよい。

【0118】

本開示の方法およびシステムにおけるセグメントごとの堆積機構を利用するために、設計プロセスは、ボクセル体系を利用するように調整され得る。3Dレンダリングモジュール155は、例えば、コンピュータ支援設計（CAD）ソフトウェアを使用して、堆積パ

10

20

30

40

50

ラメータに基づいて、部品の特定のセクションに特性を割り当て得る。例えば、フィルタとして機能するように部品の内部セクションが多孔性であり得る場合、CAD設計でそのセクションを選択してもよく、ユーザは適切な気孔率などのパラメータに値を割り当ててもよい。3Dレンダリングモジュール155のボクセルベースの拡張と並行して、コンピュータ支援製造ソフトウェアを利用して、適切なボクセル特性をユーザのCAD設計を生成するために必要なツール経路および堆積パラメータに変換してもよい。

【0119】

ボクセルベースの設計の別の例が、ヒートシンクの設計である。3Dレンダリングモジュール155によって利用されるCAD設計では、ユーザは、材料および密度などの特性を指定して、部品の特定の領域を通して熱を導いてもよい。この概念は、複数の部片から部品を作製したり、複数の異なる堆積を介したりすることなく、同じ部品の熱に敏感な領域を冷たく保つために使用され得る。ボクセルベースの設計システムは、外面または内面の表面テクスチャの制御を用いて活用されてもよい。部品に高摩擦面、高効率に冷却するための高放射面を与えるか、電極に高導電性を与えるか、表面コーティングの付着を高めるのを可能にするために、粗さを大きくすることによって、非常に大きい表面積を有するように表面を意図的に作製してもよい。

10

【0120】

セグメントを正確な位置に堆積させるために、コンピュータ制御機械式アクチュエータ110、135を用いて、供給原料電極120および基部130を配置してもよい。電気モータ、油圧モータまたは空気圧モータおよび線形アクチュエータ、ベルト、プーリ、リードスクリューならびに他の装置の組合せを使用して必要な運動を達成し得る多くの機械システムが存在する。場合によっては、上記のように、供給原料電極120は、X方向およびY方向の運動を可能にするガントリシステム105上に配置される。基部電極130は、Z軸上で独立して移動し得る。供給原料120の供給は、別の独立したアクチュエータ制御源125によって制御され得る。堆積に使用される電流のタイミング、持続時間および電力は、コントローラ145によって制御される。コントローラ145からの信号によって制御される構造物の形成は、以下の例に従って進み得る。構造物は、各々が1単位の直径を有する8つのセグメントから形成される単純な立方体である。

20

【0121】

1. ガントリ105が、XY平面内の第1の位置(X0、Y0)に供給原料120を移動させる。

30

【0122】

2. 基部130が、Z軸(Z0)内で供給原料120の先端に近い位置に移動する。

【0123】

3. 供給原料120が、基部130に接触するまで、供給源125から供給される。

【0124】

4. 電流が電極(すなわち、基部130および供給原料120)を通して流れ、供給原料120の先端を溶融させ、基部130上に金属セグメントを形成する。

【0125】

5. ガントリ105が、XY平面(X1、Y0)内の次の位置に供給原料120を移動させる。

40

【0126】

6. 供給原料120が基部130に接触するように供給され、電流が通され、別のセグメントが形成される。

【0127】

7. ガントリ105が、XY平面内で供給原料120を移動させ、X1、Y1およびX0、Y1でさらに2つのセグメントを形成する。

【0128】

8. 基部130が、供給原料120から1単位離れるように移動する(Z1)。

【0129】

50

9. ガントリ105が、(X0、Y0)に供給原料120を移動させ、供給原料120が、その下のセグメントと接触するまで供給源125から供給され、新しいセグメントが、先に堆積されたセグメントの上部に形成される。

【0130】

10. ガントリ105が、残りの各XY位置に供給原料120を順番に再び移動させ、前層の上部にそれぞれにセグメントを堆積させる。

【0131】

セグメントは、ボクセルまたは連続線形セグメントであり得る。連続線形セグメントの堆積は、電流が供給されている間、供給原料供給とガントリとの同時運動を含み得る。本開示の方法およびシステムによる金属ベースの積層造形プロセスは、単一の機械内で他のツールおよび/またはプロセスと組み合わせられてもよい。これの例は、金属堆積ツールと一緒にガントリに取り付けられたポリマー押出機ツールおよびミリングカッタツールを有する、上述されたガントリタイプの機械である。このように、ポリマーと金属との組合せを使用して構造物を構築する速度を増加させ、構造物のコストを削減するか、構造物のその部分に適切な特性を有する材料を使用して、ポリマーと金属との組合せからハイブリッド構造物を構築してもよい。例えば、本開示の方法およびシステムに従って製造された部品は、大部分が非導電性ポリマーから構築されるが、内部に印刷された金属電気回路も特徴とする構造物を有し得る。ミリングカッタは、構造物上に任意の必要な精密表面を機械加工するために使用され得る。この概念は、単一の機械内に任意の数のツールを含めて、必要な構造物の形成に必要な任意の動作を行うように拡張されてもよい。

10

20

【0132】

人間のユーザが関与することなく、自動化方式で複数の部品が連続して製造されてもよい。部品が完成した後、アームが基部130を横切り、部品を取り外し、それを収集領域に堆積してもよい。基部130から前の部品および取り外しアームが取り除かれると、次の部品が製造され得る。

【0133】

場合によっては、3Dレンダリングモジュール155によって行われる堆積パラメータの計算は、供給原料またはポリマーフィラメントの静的な直径値に基づく。ただし、供給されるフィラメントの直径は、上記のように可変であり得、これらの変動は、不十分な印刷性能、供給原料フィード115(例えば、印刷ヘッド)の詰まり/目詰まり、または深刻な場合には、装置100の機械システムの損傷を引き起こし得る。供給原料120の欠落を検出して供給源125がいつ使い尽くされるかを決定することが望ましい場合もある。さらに、必要な総供給原料120と印刷を完了する時間とを良好に予測するために、消費された供給原料120の絶対長の正確な測定値をログに記録し、アルゴリズムを開発するために使用してもよい。

30

【0134】

本開示の様々な方法およびシステムでは、供給原料120の使用(またはその欠落)を感知および追跡するために、装置100に、供給原料120と接触する機械式ホイール、または120のスムーズなビューを有する光学システムのいずれかを含むか、それらから本質的になるシステムを組み込む。図6は、印刷中に供給原料120が供給源125から供給される際に、供給原料フィード115内のある点で供給原料120に接触するホイール610を含む機械式供給原料追跡システム600を概略的に示す。供給原料120の運動は、ホイール610に接続されたデジタルエンコーダによって記録されてもよい。ある期間中に利用される供給原料120の量は、エンコーダの読み出しから計算されてもよい。図示されるように、ホイール610は、供給原料120に対してホイール610を押し付けるばね式レバー620などの機構に接続されてもよい。このように、レバー620の偏向を使用して、供給原料120の直径を計算してもよい。ホイールの運動の欠如、または非常に小さな直径測定値は、典型的には、供給源125の供給原料120が空になったことを示す。

40

【0135】

50

図7は、本開示の様々な方法およびシステムに組み込まれ得る光学供給原料追跡システム700を示す。光学画像センサ710は、供給原料の表面の微視的变化に基づいて供給原料120の移動を決定するために利用され、したがって、印刷プロセス中に利用される供給原料120の絶対長を測定するために使用され得る。センサ710に面する供給原料120の裏側で角度が付けられた光720を使用して、供給原料120によって遮断された光の面積に基づいて供給原料120の直径を測定してもよい。供給原料120に関して複数の軸でさらに正確な測定値を提供するために、複数のセンサ710を使用してもよい。供給原料追跡システム600と同様に、例えば、供給原料120の運動および直径を使用して、供給原料を追跡して、利用される供給原料の全長を計算し、および/または供給源125からいつ供給原料がなくなるかを検出してもよい。

10

【0136】

本開示の方法およびシステムにはまた、極端に大きすぎる供給原料が供給原料フィーダ（例えば、その印刷ヘッド）に詰まりまたは他の損傷を引き起こすことを防ぐために、妨害防止機構を組み込んでよい。例えば、最大許容供給原料直径と一致する内径を有するリングが、供給原料フィーダ115内に、または供給原料フィーダ115と供給源125との間に配置されてもよい。供給原料120はリングを通過し得、供給原料が大きすぎる場合、供給原料はリング内で動かなくなるか、そうでなければ印刷のためにフィーダ115を通過することができなくなる可能性がある。この状態は（例えば、供給原料追跡システム600または700）によって感知され、オペレータに報告されてもよい。さらに、図8は、そのようなリング800の実施形態を示す。図示されるように、リング800は、内径に鋭い縁部を有してもよく、それにより、供給原料120は、リング800を通過する際に、適切な直径に自動的に切り取られ得る。

20

【0137】

一部の印刷された部品、特に高密度および/または可変または複雑な形状を有するものは、印刷後に基部130から取り外すことが困難な場合がある。本開示の様々な実施形態では、犠牲構造物（または「ラフト」）が、部品の前に基部130上に印刷され、基部130からの部品の取り外しを可能にするために利用され得る。様々な実施形態では、ラフトの構造は、基部130への部品の固定を容易にし、部品（すなわち、供給原料電極）と基部130との間の導電性を可能にすると同時に、印刷後に完成した部品からのラフトの取り外しを容易にするように選択される。さらに、大きく異なる形状を有する部品に対して、同じサイズおよび/または形状および/または内部構成を有するラフトを利用し、それにより、基部130から異なる部品を取り外すための標準化されたプロセス（印刷後、ラフト（および印刷された部品）が基部130から取り外され、次いで、ラフトが部品から取り外される）を可能にしてもよい。場合によっては、ラフトは、例えば、金属および/またはポリマーを含むか、それらから本質的になるか、それらからなり得る。ラフトは、装置100によって印刷されなくてもよいが、他のアプローチによって提供される（例えば、別の装置によって製造され、部品の印刷前に基部130に取り付けられる（例えば、付着される））。場合によっては、ラフトは、その上に部品を製造するために利用されるものとは異なる1つ以上の材料を含むか、それらから本質的になるか、それらからなる。例えば、異なる金属を含むか、それらから本質的になるか、それらからなる供給原料を利用して、ラフトを印刷し、1つ以上の部品を印刷してもよい。

30

40

【0138】

図9Aおよび図9Bは、本開示の方法およびシステムに従って製造されたラフト900の概略上面図である。図示されるように、ラフトは、部品を印刷する前に、基部130上に（例えば、供給原料120を使用して）印刷された材料の1つ以上の層を含むか、それらから本質的になり得る。印刷された部品からのラフトのその後の取り外しを容易にするために、ラフトは、例えば、図9Aおよび図9Bに示すように、印刷された材料の一連の帯910またはグリッドパターン920から構成され得る。すなわち、様々な実施形態では、ラフト900は、材料の固体シートから構成されるのではなく、ラフト900は、基部130とラフト900の上に印刷された部品との間に延びる、そこを通る1つ以上の開

50

口部を画定する。ラフト900は、ラフト900の上に部品を印刷するために利用される供給原料120に対応する(すなわち、同じ材料および/または同じ供給原料直径および/または堆積状態)供給原料120を利用して印刷され得るか、ラフト900は、異なる材料、異なる供給原料直径および/または異なる堆積状態(例えば、供給原料引戻し速度)を利用して印刷され得る。

【0139】

場合によっては、ラフト900は、それらの間にギャップ940を有する厚さ930を有する印刷された領域から少なくとも部分的に構成される。厚さ930および/またはギャップ940のサイズは、ラフト900と印刷された部品および/または基部130との間の付着を制御するように選択されてもよい。その代わりに、またはそれに加えて、ラフト900の全部または一部の高さ(すなわち、垂直方向の厚さ)は、その上の部品のその後の印刷を容易にするように選択されてもよい。図9Cは、1つ以上の底部層960、1つ以上の中間層970および1つ以上の上部層980から構成されるラフト900の上に印刷された部品950を示す。底部層960は、例えば、部品を基部130の表面の粗さまたは不均一さから隔離するために、部品を印刷するために典型的に利用される層の厚さよりも大きい厚さを有してもよい。例えば、印刷された部品が約0.6mmの厚さを有する層から典型的に構成される場合、ラフト900の少なくとも底部層960は、0.6mmを超える、例えば1mmを超える、またはさらに厚い厚さを有し得る。図9Cのラフト900はまた、基部130または部品950のいずれかに機械的に接触しなくてもよい1つ以上の中間層970を含む。(1または複数の)中間層970は、例えば、ラフト900に構造的安定性を提供しながら、ラフト900を介して導電性を提供し得る。上部層980は、ラフト900と、ラフト上に印刷された部品950との間の付着量を制御するように設計された構造を有し得る。例えば、上部層980の多孔性および/または上部層980のギャップ940のサイズを増加させて、ラフト900と部品950との間の界面における表面積の量(したがって、付着)を減少させてもよい。

10

20

【0140】

本明細書に詳述されるように部品950が印刷されると、部品950およびラフト900は、基部130から分離され得る。図10Aは、基部130からラフト900を分離するためにブレード1000が利用される実施形態を示す。図10Bに示すように、基部130からラフト900を分離した後、部品950からラフトを剥がしてもよい。

30

【0141】

場合によっては、装置100は、装置100の自動化能力を活用するために、モジュール式自動化製造ステーションの組立ラインに沿った単一の「ステーション」であってよい。例えば、部品は、装置100を利用して印刷され、次いで、(例えば、コンベアベルト、ロボットハンドまたは同様のシステムを介して)仕上げステーション(例えば、ロックタンブラ、振動ボックス、ピーズ噴出キャビネットおよび/または(例えば、UVライト、化学薬品を用いた)自動消毒用の洗浄ステーションに、自動的に転送されてもよい。次いで、部品は、ラップステーション(例えば、プラスチックラップステーション)に、次いで、それらが出る際に箱詰めされた部品にラベル付けする自動ラベラを有する包装ステーションに転送されてもよい。平行組立ラインが、印刷された部品の梱包材を製造してもよい。例えば、印刷された部品の型を利用して、それが完成した部品にぴったりと合うように包装用発泡体を成形してもよい。成形された発泡体は、主組立ライン内の箱とともに包装システムに供給されてもよい。

40

【0142】

場合によっては、供給原料追跡システム600、700などの供給原料追跡システム、ならびにラフト(例えば、ラフト900)および/または装置100の他の部分は、非金属材料(例えば、プラスチック)から構成された供給原料を用いて、および/または非金属(例えば、プラスチック)物体を印刷するために利用され得る。

【0143】

場合によっては、板金または金属リボンなどの供給原料を原料として使用して、印刷ブ

50

ロセスを平行化してもよい。図12は、堆積装置を使用して印刷アレイ1202を製造するための、構築プレート1201上のY方向における金属積層堆積1200の平行化を示す。印刷は、抵抗印刷（例えば、ジュール印刷）であってよい。構築プレート1201は、構築プレート1201のいずれかの側に少なくとも1つのロッドまたはレール1203を備え得る。少なくとも1つのロッドまたはレール1203は、閉じた直線運動を提供する。場合によっては、堆積装置の接触先端が電流を供給してもよい。電流を選択的に駆動する個別の接触先端を使用して、Z方向に各原料（例えば、供給原料）の選択的な運動制御が存在してもよい。原料（例えば、供給原料）の複数の厚さまたは様々な厚さが使用されてもよい。

【0144】

場合によっては、高い分離度を得るために、印刷プロセスの平行化が複数のノードを含んでもよい。これにより、完全に密な部品が製造され得る。業界標準の供給原料、例えば、板金または金属箔を原料として使用してもよい。印刷前に、供給原料のロールをリボンに変形させてもよい。供給原料を同時にかつ選択的に印刷するために、サブシステム1300（図13）では、Y軸に沿った各位置に堆積されるノードが制御され得る。サブシステム1300は、3つのノード1301、1302および1303を備える。ノード1301および1302は、ギャップ1304によって分離されている。ノード1302および1303は、ギャップ1305によって分離されている。長さL、厚さt（1306）および係数 n の供給原料の場合、分離度は立方体（ t^3 ）になるように最適化され得る。Lはtよりも大きくてよく、 n はノードの数であってよく、 g は各ノード間のギャップ長であってよい。そのような場合、供給原料の長さは、式3に従って計算され得る。

【0145】

$$L = n t + (n - 1) g \quad \text{式 3}$$

供給原料の印刷堆積の選択的な平行化には、変数 g が必要であり得る。場合によっては、 g の最小値は、供給原料の誘電率に依存し得る。動的ギャップ静電容量を測定するために必要なギャップ面積は、式4に従って計算され得る。

【0146】

$$\text{ギャップ面積} = g_n \times t_n \quad \text{式 4}$$

図13の連続シート内の静電容量効果は克服され得、ノード1および3がノード2によってではなく堆積される場合、各ノードの運動は離散的に制御され得るか、各堆積の前に均一なノード長が保証され得る。いずれの場合も、パージが必要になり得る。この要件のために、構築プレートに平行であり、システム1400（図14）における供給原料の運動に垂直な切断ツールが存在し得る。切断ツール1401は、能動的または受動的な切断ツールであり得る。能動的または受動的な切断ツールは、レーザ、ワイヤ放電加工（EDM）および剪断機からなる群から選択され得る。切断ツールはギロチンタイプのブレード機構であってよい。場合によっては、切断ツールは、鋭利で硬い切断ゾーン1402および強靱な耐熱ゾーン1403を備え得る。場合によっては、切断された材料がワークピースに落下する際に、除去された材料が重力の問題を有する可能性がある。その結果、構築体積の外側のパージ領域がパージされ得るか、部品が上下逆に印刷され得る。あるいは、重力 g が電圧 v に平行になるように部品を横向きに印刷し、切断された材料がワークピースから落下するようにしてもよい。場合によっては、高吸引真空、磁石および/または電界を使用して、重力に逆らって、切断された材料を除去してもよい。

【0147】

場合によっては、シートからリボンを生成して、印刷プロセスをコスト効率よく平行化してもよい。大規模な産業用途用の供給原料として、板金を使用してもよい。各ノードを個別に移動させる場合、各リボンを各ノードに個別に供給してもよい。場合によっては、板金をリボンに変形させる内部システムを利用してよい。シートをリボンに機械的に切断することにより、そのような変形に剪断を使用してもよい。他の例では、高エネルギーレーザアレイを使用してシートをリボンに切断するレーザアレイが使用されてもよい。あるいは、ワイヤEDM、プラズマカッタアレイまたはバンドソーアレイが切断に使用され

10

20

30

40

50

てもよい。

【0148】

場合によっては、部品の片側が薄く、反対側が厚い場合がある。薄い側はノード1を十分に活用できない可能性があり、厚い側はノード3を過度に利用する可能性がある。このような状況では、不均一な印刷が発生しているため、板金の連続スプールは適切でない場合がある。図15は、シートスプール1501を小さなシート1503に切断することができ(1502)、小さなシート1503をさらにリボン1505に切断することができ(1504)、リボン1505が選択的印刷接触先端アレイ1506に供給され、次いで構築プレート1507上に印刷され得るサブシステム1500を示す。図16は、リボン1603がレーザアレイ1602によってシート1601から切断されるサブシステム1600を示す。切断アレイは、剪断アレイ、ワイヤEDMアレイ、超音波振動アレイ、プラズマカッターアレイおよび/またはバンドソーアレイからなる群から選択され得る。金属シートWの幅は、式5に従って計算され得、式中、wは各リボンの幅であり、nはリボンの数である。体積流量は、式6に従って計算され得、式中、tはリボンの厚さであり、fは供給速度(例えば、メートル/秒)である。

10

【0149】

$$W = n \times w \quad \text{式5}$$

$$\text{体積流量} = W \times t \times f = w \times n \times t \times f \quad \text{式6}$$

各堆積は、上に示した形状特性を有し得る。

【0150】

機械的制御を電流制御にマッピングしてもよい。電流は、各ノードで選択的に設定、監視および制御され得る。各ノードでいつどの程度の電流が流れるかを制御するために、デジタルロジックを使用した各ノードでの電力制御にアナログ電力電子機器を使用してもよい。図17は、 n_1 1701および n_3 1703を通して電流が流れ(1705)、 n_2 1702および n_4 1704を通して電流が流れない(1706)並列回路設計1700を示す。 n_1 1701および n_3 1703が給電し構築プレートに接触すると、堆積物が形成され得る。対照的に、 n_2 1702および n_4 1704では給電されず、電流が流れないため、堆積が生じ得ない。図17では、 n_1 1701および n_3

20

1703がともにI/2アンペアの電流を受け取る。一般的な回路設計は、堆積の柔軟性を制限する可能性があるため、印刷プロセス制御システムには理想的ではない場合がある。例えば、 n_1 1701および n_3 1703が異なる金属上に堆積される場合、所望の冶金特性を達成するために、異なる電流が n_1 1701および n_3 1703に供給されてもよい。その結果、電流の流れが正確に設定され、各ノードに対して別個に制御され得る。

30

【0151】

場合によっては、任意の形状の供給原料とともに直列堆積ヘッドを使用してもよい。堆積ヘッドの並列アレイを使用して、堆積速度を増加させてもよい。板金が使用される場合、図18のシステム1800に示すように、未使用の材料がパージされ得る。供給原料1802は、堆積機械に供給されてもよい。供給原料1802は、丸線1813、正方形押出ワイヤ1814、板金ストリップおよび板金スプールからなる群から選択されてもよい。堆積機械に供給原料を供給する前に、磁石、吸引、手動および/または摩擦ローラなどの様々な取り扱い方法および装置1801を使用して、供給原料を前処理してもよい。供給原料1802は、セパレータ1803に供給されてもよく、供給原料のシートは、複数のリボン1804に切断されてもよい。切断ヘッドの並列アレイが1つ以上の堆積ヘッド(例えば、並列堆積ヘッド)に供給されるリボンストリップを作成した後、堆積が始まり得る(1805)。1つ以上の堆積ヘッドは、レールおよびロッド1808に対して垂直に移動する際に、構築プレート1809上に金属ボクセル1806を選択的に堆積させてもよい。1つ以上の堆積ヘッドが1つのボクセル長1807を移動すると、プロセスは、3D物体が構築されるまで繰り返され得る(1810)。次に、金属の1つのストリップが枯渇すると、堆積ヘッドがパージ領域1813に移動し得、他のストランドがパージさ

40

50

れて、新しいシートに道を空け得る(1811)。ページされた金属は、再使用およびその他の使用のためにリサイクルおよび再加工されてもよい(1812)。

【0152】

コンピュータシステム

本開示は、本開示の方法を実装するようにプログラムされたコンピュータシステムを提供する。図11は、本開示の3D印刷方法およびシステムを実装するようにプログラムまたは構成されたコンピュータシステム1101を示す。コンピュータシステム1101は、例えば、基部に隣接する3D物体の少なくとも一部を印刷するなど、本開示の方法の様々な態様を調整することができる。

【0153】

コンピュータシステム1101は、中央処理装置(CPU、本明細書では「プロセッサ」および「コンピュータプロセッサ」)1105を含み、中央処理装置はシングルコアもしくはマルチコアプロセッサ、または並列処理のための複数のプロセッサであり得る。コンピュータシステム1101はまた、メモリまたはメモリ位置1110(例えば、ランダムアクセスメモリ、読み取り専用メモリ、フラッシュメモリ)、電子記憶ユニット1115(例えば、ハードディスク)、1つ以上の他のシステムとの通信のための通信インターフェース1120(例えば、ネットワークアダプタ)、および周辺装置1125、例えば、キャッシュ、他のメモリ、データ記憶および/または電子ディスプレイアダプタを含む。メモリ1110、記憶ユニット1115、インターフェース1120および周辺装置1125は、マザーボードなどの通信バス(実線)を介してCPU1105と通信する。記憶ユニット1115は、データを記憶するためのデータ記憶ユニット(またはデータリポジトリ)であり得る。コンピュータシステム1101は、通信インターフェース1120の助けを借りて、コンピュータネットワーク(「ネットワーク」)1130に動作可能に結合され得る。ネットワーク1130は、インターネット、インターネットおよび/またはエクストラネット、またはインターネットと通信するイントラネットおよび/またはエクストラネットであり得る。場合によっては、ネットワーク1130は電気通信および/またはデータネットワークである。ネットワーク1130は、クラウドコンピューティングなどの分散コンピューティングを可能にすることができる1つ以上のコンピュータサーバを含むことができる。場合によっては、ネットワーク1130は、コンピュータシステム1101の助けを借りて、ピアツーピアネットワークを実装することができ、これにより、コンピュータシステム1101に結合された装置がクライアントまたはサーバとして動作することが可能になり得る。

【0154】

CPU1105は、一連の機械可読命令を実行することができ、機械可読命令はプログラムまたはソフトウェアで具体化することができる。命令は、メモリ1110などのメモリ位置に記憶されてもよい。命令は、CPU1105に向けられ得、命令は、その後、本開示の方法を実装するようにCPU1105をプログラムまたは構成し得る。CPU1105によって実行される動作の例には、フェッチ、デコード、実行およびライトバックが挙げられ得る。

【0155】

CPU1105は、集積回路などの回路の一部であり得る。システム1101の1つ以上の他の構成要素が回路に含まれ得る。場合によっては、回路は特定用途向け集積回路(ASIC)である。

【0156】

記憶ユニット1115は、ドライバ、ライブラリおよび保存されたプログラムなどのファイルを記憶することができる。記憶ユニット1115は、ユーザデータ、例えば、ユーザ嗜好およびユーザプログラムを記憶することができる。場合によっては、コンピュータシステム1101は、イントラネットまたはインターネットを介してコンピュータシステム1101と通信するリモートサーバ上に位置するなど、コンピュータシステム1101の外部にある1つ以上の追加のデータ記憶ユニットを含むことができる。

10

20

30

40

50

【0157】

コンピュータシステム1101は、ネットワーク1130を介して1つ以上のリモートコンピュータシステムと通信することができる。例えば、コンピュータシステム1101は、ユーザ（例えば、3D印刷システムの顧客またはオペレータ）のリモートコンピュータシステムと通信することができる。リモートコンピュータシステムの例には、パーソナルコンピュータ（例えば、ポータブルPC）、スレートもしくはタブレットPC（例えば、Apple（登録商標）iPad、Samsung（登録商標）Galaxy Tab）、電話、スマートフォン（例えば、Apple（登録商標）iPhone、Android対応装置、BlackBerry（登録商標））または携帯情報端末が挙げられる。ユーザは、ネットワーク1130を介してコンピュータシステム1101にアクセスすることができる。

10

【0158】

本明細書に記載の方法は、例えば、メモリ1110または電子記憶ユニット1115など、コンピュータシステム1101の電子記憶位置に記憶された機械（例えば、コンピュータプロセッサ）実行可能コードによって実装することができる。機械実行可能コードまたは機械可読コードは、ソフトウェアの形態で提供され得る。使用中、プロセッサ1105によってコードを実行することができる。場合によっては、コードは、プロセッサ1105による容易なアクセスのために、記憶ユニット1115から検索され、メモリ1110に記憶され得る。いくつかの状況では、電子記憶ユニット1115を除外することができ、機械実行可能命令がメモリ1110に記憶される。

20

【0159】

コードは、コードを実行するように構成されたプロセッサを有する機械を用いて使用するために事前コンパイルおよび構成することができるか、実行時にコンパイルすることができる。コードは、事前コンパイルまたはアズコンパイル（*as-compiled*）の様式でコードを実行可能にするように選択され得るプログラミング言語で供給されてもよい。

【0160】

コンピュータシステム1101など、本明細書で提供されるシステムおよび方法の様子は、プログラミングで具体化することができる。この技術の様々な態様は、典型的には、機械（またはプロセッサ）実行可能コードおよび/またはあるタイプの機械可読媒体に搭載または具体化される関連データの形態で、「製品」または「製造品」と考えられ得る。機械実行可能コードは、メモリ（例えば、読み取り専用メモリ、ランダムアクセスメモリ、フラッシュメモリ）またはハードディスクなどの電子記憶ユニットに記憶することができる。「記憶」タイプの媒体には、コンピュータ、プロセッサなど、またはその関連モジュールの有形メモリのいずれかまたは全部、例えば、ソフトウェアプログラミングに対して任意の時点で非一時的記憶を提供し得る様々な半導体メモリ、テープドライブ、ディスクドライブなどが含まれ得る。ソフトウェアの全部または一部は、時に、インターネットまたは他の様々な電気通信ネットワークを介して通信されてもよい。そのような通信は、例えば、あるコンピュータまたはプロセッサから別のコンピュータまたはプロセッサ、例えば管理サーバまたはホストコンピュータからアプリケーションサーバのコンピュータプラットフォームへのソフトウェアのローディングを可能にし得る。したがって、ソフトウェア要素を搭載し得る別のタイプの媒体には、ローカル装置間の物理的インターフェース、有線および光固定電話ネットワークならびに様々なエアリンクを介して使用されるような光波、電波および電磁波も含まれる。例えば、有線リンクまたは無線リンク、光学式リンクなど、そのような波を運ぶ物理的要素もまた、ソフトウェアを搭載した媒体と考えられ得る。本明細書で使用される場合、非一時的な有形の「記憶」媒体に限定されない限り、コンピュータまたは機械「可読媒体」などの用語は、実行のためにプロセッサに命令を提供することに關与する任意の媒体を指す。

30

40

【0161】

したがって、コンピュータ実行可能コードなどの機械可読媒体は、限定するものではな

50

いが、有形の記憶媒体、搬送波媒体または物理的伝送媒体を含む多くの形態を取り得る。不揮発性記憶媒体には、例えば、図面に示されるデータベースなどを実装するために使用され得るような、任意の（1または複数の）コンピュータなどの記憶装置のいずれかなどの光学または磁気ディスクが含まれる。揮発性記憶媒体には、そのようなコンピュータプラットフォームのメインメモリなどの動的メモリが含まれる。有形伝送媒体には、同軸ケーブル、すなわち、コンピュータシステム内のバスを構成する配線を含む銅線および光ファイバが含まれる。搬送波伝送媒体は、無線周波数（RF）および赤外（IR）データ通信中に生成されるものなど、電気信号もしくは電磁信号、または音波もしくは光波の形態を取り得る。したがって、一般的な形態のコンピュータ可読媒体には、例えば、フロッピーディスク、フレキシブルディスク、ハードディスク、磁気テープ、他の任意の磁気媒体、CD-ROM、DVDもしくはDVD-ROM、他の任意の光学媒体、パンチカード紙テープ、穴のパターンを有する他の任意の物理記憶媒体、RAM、ROM、PROMおよびEPROM、FLASH-EPROM、他の任意のメモリチップもしくはカートリッジ、データもしくは命令を運ぶ搬送波、そのような搬送波を運ぶケーブルもしくはリンク、またはコンピュータがそこからプログラミングコードおよび/またはデータを読み取り得る他の任意の媒体が含まれる。これらの形態のコンピュータ可読媒体の多くは、実行のためにプロセッサに1つ以上の命令の1つ以上のシーケンスを運ぶことに関与し得る。

10

【0162】

コンピュータシステム1101は、例えば、印刷ヘッドツール経路をユーザに提供するためのユーザインターフェース（UI）1140を備える電子ディスプレイ1135を含むか、それと通信することができる。UIの例には、限定するものではないが、グラフィカルユーザインターフェース（GUI）、およびWebベースのユーザインターフェースが挙げられる。

20

【0163】

本開示の方法およびシステムは、1つ以上のアルゴリズムによって実装することができる。アルゴリズムは、中央処理装置1105による実行時にソフトウェアによって実装することができる。アルゴリズムは、例えば、部品のコンピュータモデルを分割し、コンピュータモデルからメッシュ配列を生成することができる。

【0164】

コンピュータシステム1101は、3D印刷システムを含むことができる。3D印刷システムは、1つ以上の3Dプリンタを含み得る。3Dプリンタは、例えば、熔融フィラメント製造（FFF）プリンタであり得る。その代わりにまたはそれに加えて、コンピュータシステム1101は、ネットワーク1130などを介して3D印刷システムとリモート通信してもよい。

30

【0165】

本発明の好ましい実施形態を本明細書に示し、説明してきたが、そのような実施形態が例としてのみ提供されていることは当業者には明らかであろう。本発明が本明細書内で提供される特定の例によって限定されることは意図されない。上記明細書を参照して本発明を説明してきたが、本明細書での実施形態の説明および例示は、限定の意味で解釈されることを意図していない。ここで、本発明から逸脱することなく、多数の変形例、変更および置換が当業者に思い浮かぶであろう。さらに、本発明のすべての態様は、様々な条件および変数に依存する本明細書に記載の特定の図、構成または相対比率に限定されないことを理解されたい。本明細書に記載される本発明の実施形態に対する様々な代替物が、本発明を実施する際に使用され得ることを理解されたい。したがって、本発明が、任意のそのような代替物、修正、変形例または均等物も包含することが企図される。以下の特許請求の範囲が本発明の範囲を規定し、これらの特許請求の範囲内の方法および構造ならびにこれらの均等物が特許請求の範囲によって包含されることが意図される。

40

【 図 1 】

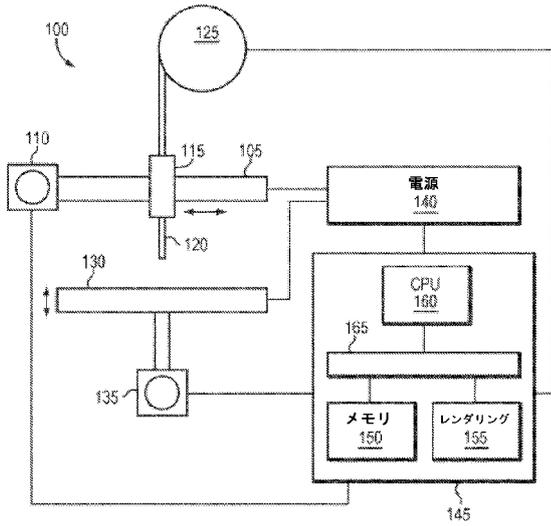


FIG. 1

【 図 2 A 】

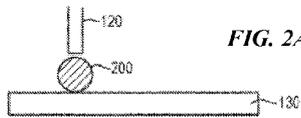


FIG. 2A

【 図 2 G 】

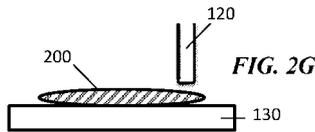


FIG. 2G

【 図 3 】

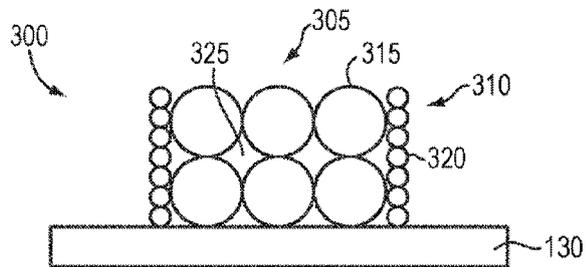


FIG. 3

【 図 2 B 】

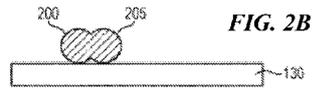


FIG. 2B

【 図 2 C 】

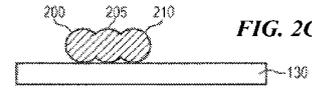


FIG. 2C

【 図 2 D 】

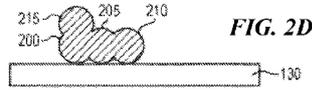


FIG. 2D

【 図 2 E 】

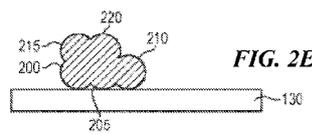


FIG. 2E

【 図 2 F 】

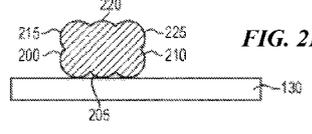


FIG. 2F

【 図 4 A 】

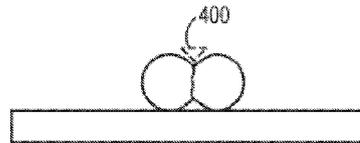


FIG. 4A

【 図 4 B 】

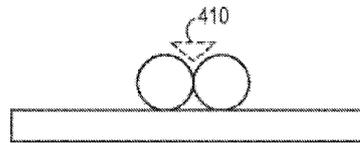


FIG. 4B

【 図 5 A 】

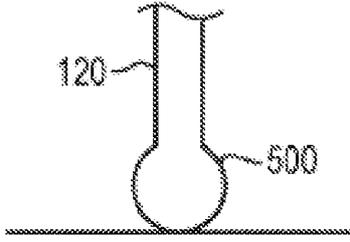


FIG. 5A

【 図 5 B 】

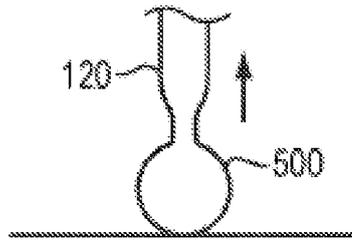


FIG. 5B

【 図 5 C 】

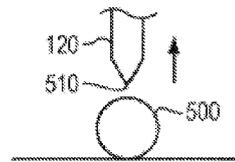


FIG. 5C

【 図 5 D 】

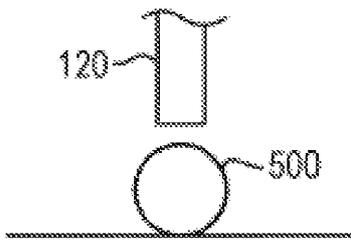


FIG. 5D

【 図 5 F 】

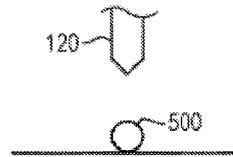


FIG. 5F

【 図 5 E 】

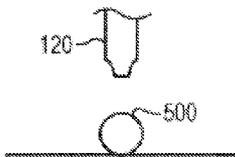


FIG. 5E

【 図 6 】

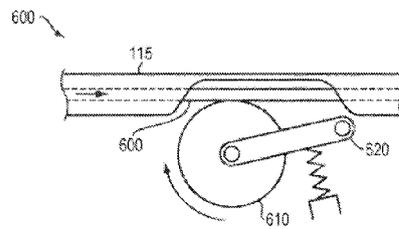


FIG. 6

【 図 7 】

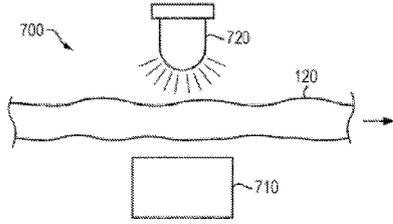


FIG. 7

【 図 8 】

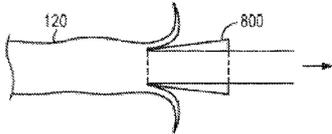


FIG. 8

【 図 9 A 】

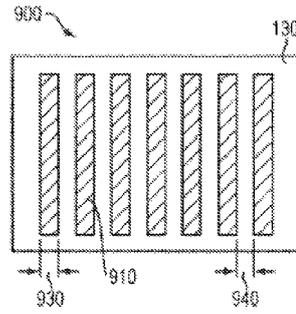


FIG. 9A

【 図 9 B 】

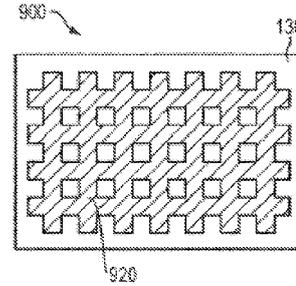


FIG. 9B

【 図 9 C 】

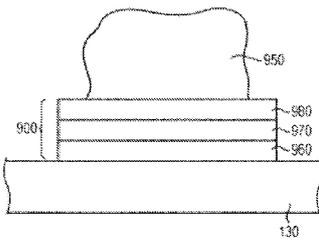


FIG. 9C

【 図 10 B 】

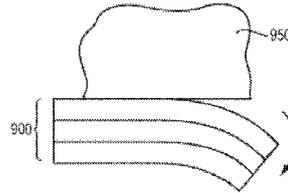


FIG. 10B

【 図 10 A 】

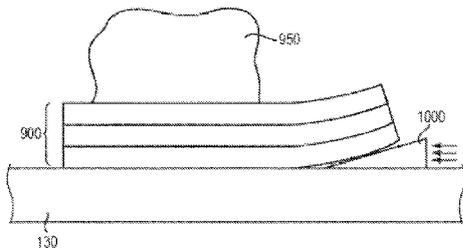


FIG. 10A

【 図 1 1 】

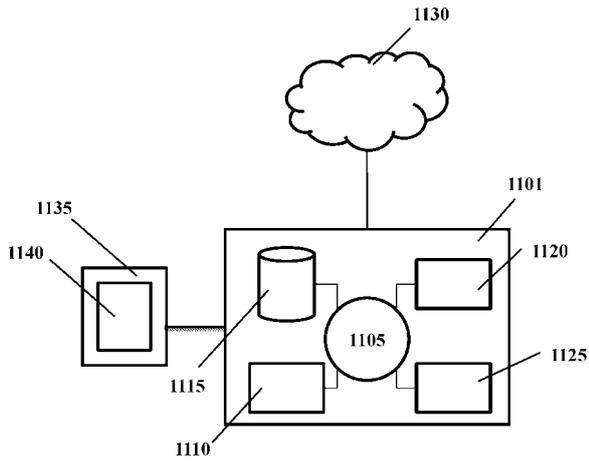


FIG. 11

【 図 1 2 】

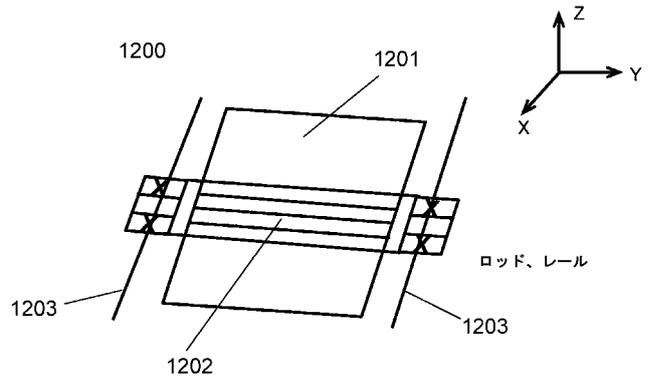


FIG. 12

【 図 1 3 】

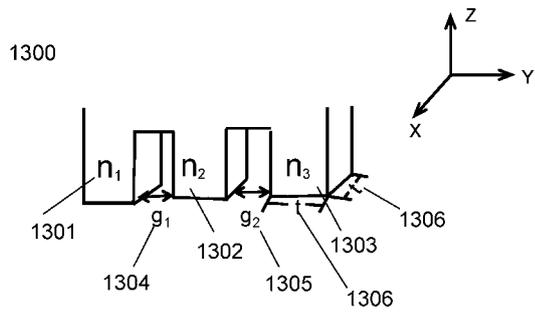


FIG. 13

【 図 1 5 】

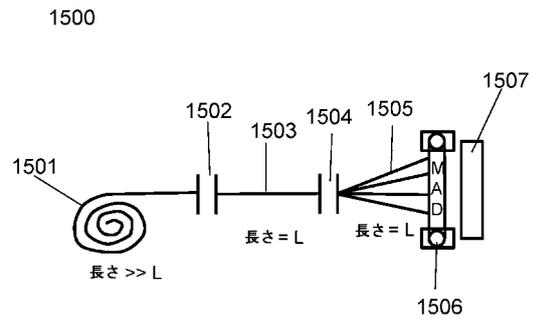


FIG. 15

【 図 1 4 】

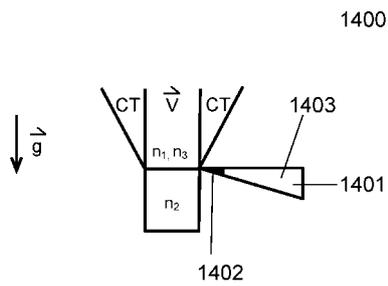


FIG. 14

【 図 1 6 】

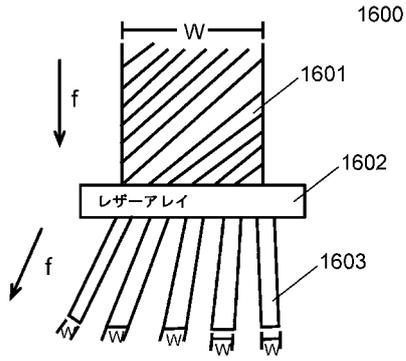


FIG. 16

【 図 1 7 】

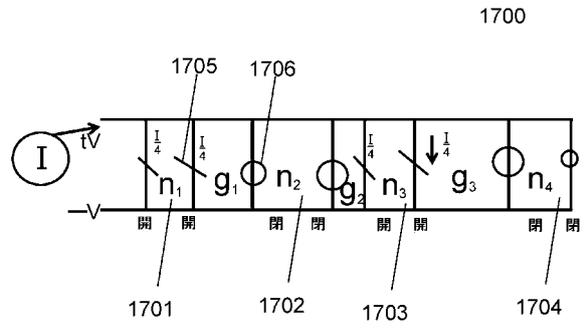


FIG. 17

【 図 1 8 】

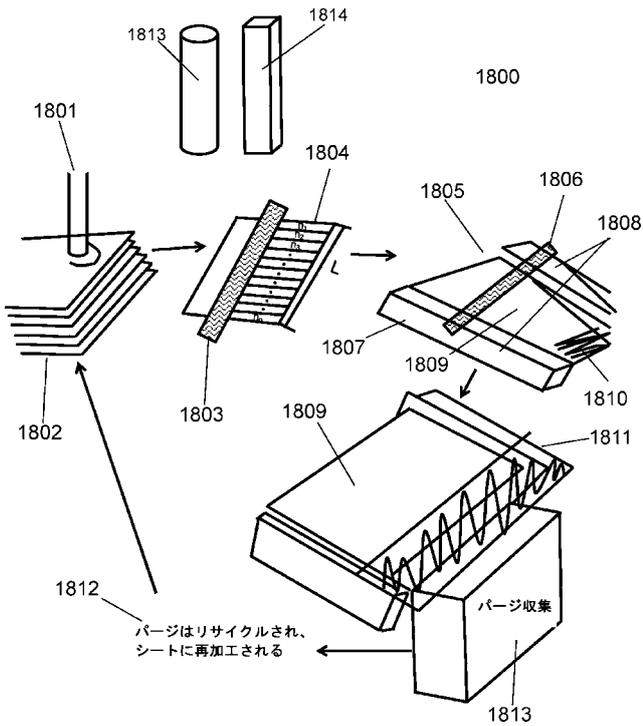


FIG. 18

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US2019/022785
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER B22F 3/105(2006.01)i, B33Y 10/00(2015.01)i, B33Y 50/02(2015.01)i, B33Y 70/00(2015.01)i		
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) B22F 3/105; B23K 9/04; B29C 64/386; B29C 67/00; B33Y 30/00; B33Y 50/02; G05B 15/02; G06F 17/30; B33Y 10/00; B33Y 70/00		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models Japanese utility models and applications for utility models		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eCOMPASS(KIPO internal) & Keywords: additive manufacturing, 3d printing, arc, electrically and feedback		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2015-0331402 A1 (AUTODESK, INC.) 19 November 2015 See paragraphs [0006], [0008], [0009], [0028], [0031], [0033], [0051] and figure 6.	1-41,44-63
A		42,43
Y	US 2017-0341306 A1 (DIGITAL ALLOYS INCORPORATED) 30 November 2017 See paragraphs [0009], [0012], [0034], [0046], [0053]-[0060], [0066]; claims 1, 16; and figure 1.	1-41,44-63
Y	US 2016-0200052 A1 (CARBON3D, INC.) 14 July 2016 See paragraphs [0253], [0264], [0279] and figure 30.	24-41,44-51
A	KR 10-1614860 B1 (BEES, INC.) 25 April 2016 See abstract and figure 1.	1-63
A	US 2012-0325779 A1 (YELISTRATOV, ALEXEI) 27 December 2012 See paragraphs [0005]-[0006] and figure 1.	1-63
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family	
Date of the actual completion of the international search 25 June 2019 (25.06.2019)		Date of mailing of the international search report 25 June 2019 (25.06.2019)
Name and mailing address of the ISA/KR International Application Division Korean Intellectual Property Office 189 Cheongsu-ro, Seo-gu, Daejeon, 35208, Republic of Korea Facsimile No. +82-42-481-8578		Authorized officer LEE, Se Gyoung Telephone No. +82-42-481-8740

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2019/022785

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2015-0331402 A1	19/11/2015	US 0073424 B2	11/09/2018
US 2017-0341306 A1	30/11/2017	CA 2970313 A1	16/06/2016
		CN 107206536 A	26/09/2017
		EP 3229997 A1	18/10/2017
		EP 3229997 A4	03/10/2018
		GB 2549653 A	25/10/2017
		GB 2549653 B	09/01/2019
		JP 2018-507317 A	15/03/2018
		MX 2017007479 A	07/05/2018
		US 0029406 B2	24/07/2018
		US 0086467 B2	02/10/2018
		US 2016-167156 A1	16/06/2016
		US 2017-282283 A1	05/10/2017
		US 2018-194068 A1	12/07/2018
		US 2018-222119 A1	09/08/2018
		US 9956640 B2	01/05/2018
		WO 2016-094660 A1	16/06/2016
US 2016-0200052 A1	14/07/2016	EP 3245044 A1	22/11/2017
		WO 2016-115236 A1	21/07/2016
KR 10-1614860 B1	25/04/2016	CN 108349002 A	31/07/2018
		US 2018-0326525 A1	15/11/2018
		WO 2017-073947 A1	04/05/2017
US 2012-0325779 A1	27/12/2012	None	

フロントページの続き

(81)指定国・地域 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(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), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), 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, JP, 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

(特許庁注：以下のものは登録商標)

- 1 . J A V A S C R I P T
- 2 . J A V A
- 3 . L i n u x
- 4 . U N I X
- 5 . A N D R O I D

(74)代理人 100137213

弁理士 安藤 健司

(74)代理人 100143823

弁理士 市川 英彦

(74)代理人 100183519

弁理士 櫻田 芳恵

(74)代理人 100196483

弁理士 川崎 洋祐

(74)代理人 100203035

弁理士 五味淵 琢也

(74)代理人 100160749

弁理士 飯野 陽一

(74)代理人 100160255

弁理士 市川 祐輔

(74)代理人 100202267

弁理士 森山 正浩

(74)代理人 100182132

弁理士 河野 隆

(74)代理人 100146318

弁理士 岩瀬 吉和

(74)代理人 100127812

弁理士 城山 康文

(72)発明者 バーク, ポール

アメリカ合衆国、マサチューセッツ・01701、フレーミングハム、リッジウッド・ロード・49

(72)発明者 タイグ, エラード

アメリカ合衆国、マサチューセッツ・02420、レキシントン、ヤング・ストリート・3

(72)発明者 ドール, マテオ・ベナ

アメリカ合衆国、マサチューセッツ・02116、ボストン、マールボロー・ストリート・112、ナンバー1エフ

(72)発明者 マッカラム, ダンカン・シー

アメリカ合衆国、マサチューセッツ・01803、バーリントン、ノース・アベニュー・37

Fターム(参考) 4F213 AM23 AP05 AR06 AR15 WA25 WA63 WB01 WL02 WL15 WL32

WL42 WL52 WL67 WL75 WL85 WL87 WL96