

(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2020-529936

(P2020-529936A)

(43) 公表日 令和2年10月15日 (2020. 10. 15)

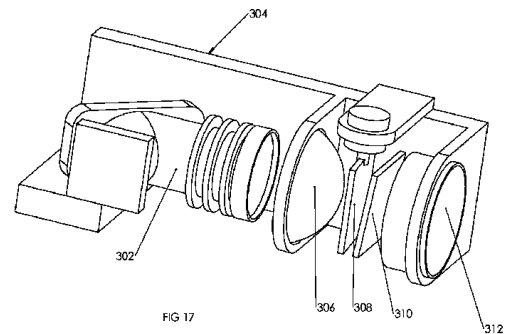
(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 9 C 64/165 (2017. 01)	B 2 9 C 64/165	2 H 1 4 1
B 2 9 C 64/205 (2017. 01)	B 2 9 C 64/205	4 F 2 1 3
B 2 9 C 64/264 (2017. 01)	B 2 9 C 64/264	4 K O 1 8
B 2 9 C 64/321 (2017. 01)	B 2 9 C 64/321	
B 3 3 Y 30/00 (2015. 01)	B 3 3 Y 30/00	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 38 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2020-505465 (P2020-505465)	(71) 出願人	517352005
(86) (22) 出願日	平成30年8月2日 (2018. 8. 2)		トリオ ラブズ インコーポレイテッド
(85) 翻訳文提出日	令和2年3月17日 (2020. 3. 17)		TRIO LABS, INC.
(86) 国際出願番号	PCT/US2018/044938		アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 2
(87) 国際公開番号	W02019/028215		7709 リサーチ トライアングル パ
(87) 国際公開日	平成31年2月7日 (2019. 2. 7)		ーク デイビス ドライブ 2 スイート
(31) 優先権主張番号	62/540, 392		1 3 2
(32) 優先日	平成29年8月2日 (2017. 8. 2)	(74) 代理人	100147485
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		弁理士 杉村 憲司
		(74) 代理人	230118913
			弁護士 杉村 光嗣
		(74) 代理人	100149249
			弁理士 田中 達也
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 in situ 注入およびイメージングを用いる立体自由造形

(57) 【要約】

造形装置は、デジタルモデルの3次元個体表現を造形するために造形材料の層を受け取るプラットフォームと、造形材料の層を堆積するための構成要素と、造形材料の各部分をデジタルモデルに含まれるデータ部分を表す断面に結合するためのイメージング構成要素とを含む。第1のイメージング構成要素は、特殊な屈折ピクセルシフト機構または他のイメージングシステムを利用するプログラム可能な平面光源とすることができる。プラットフォームは、造形中の部品に光硬化性樹脂を供給するための注入システムを含む。物体は、さまざまな粉末材料またはプラスチック成分のいずれかを使用した粉末複合部品であってもよい。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

高解像度画像を生成する装置であって、

1つ以上の放射ビームからなる画像を表面に投影するように構成された表示ユニットと

、

表示ユニットと表面との間に配置された透明材料を含む少なくとも1つの屈折素子とを備え、

前記少なくとも1つの屈折素子は、前記1つ以上の放射ビームを1つ以上の緊急の放射ビームとして透過するように構成され、且つ

前記少なくとも1つの屈折素子は、前記表面に対する前記画像の位置をシフトさせるように回転可能である、

装置。

【請求項 2】

前記表示ユニットはデジタルマイクロミラーデバイスを備える、請求項 1 に記載の装置

。

【請求項 3】

前記表示ユニットは複数のピクセルを備え、それらのピクセルはピクセルの幅よりも大きい距離だけ互いに離間している、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 4】

前記少なくとも1つの屈折素子は、

第1の回転軸を中心に旋回可能な第1の屈折ピクセルシフトと、

第1の回転軸とは異なる第2の回転軸を中心に旋回可能な第2の屈折ピクセルシフトと

、

を備える、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 5】

前記第2の回転軸は前記第1の回転軸に実質的に垂直である、請求項 4 に記載の装置。

【請求項 6】

前記少なくとも1つの屈折素子は前記表面に対して異なる角度で配置された複数の静屈折素子を含む、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 7】

前記表示ユニットと前記少なくとも1つの屈折素子との間に配置されたコリメーション光学系を備え、前記コリメーション光学系は前記放射ビームをコリメートするように構成されている、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 8】

前記表面上の前記画像のサイズを調整するために、前記少なくとも1つの屈折素子からの前記緊急の放射ビームを集束させるように構成された投影光学系を備える、請求項 1 または 7 に記載の装置。

【請求項 9】

高解像度画像を生成する方法であって、該方法は、

表示ユニットから表面に向けて1つ以上の放射ビームからなる画像を投影するステップと、

前記表示ユニットと前記表面との間に少なくとも1つの屈折素子を配置するステップと

、

前記1つ以上の放射ビームを前記少なくとも1つの屈折素子を透過させて、前記表面に向けられた1つ以上の緊急の放射ビームを生成するステップと、

前記少なくとも1つの屈折素子の回転位置を変化させて、前記表面に対する前記画像の位置を調整するステップと、

備える、方法。

【請求項 10】

前記表示ユニットは、デジタルマイクロミラーデバイスを備え、画像を投影するステッ

10

20

30

40

50

ブは、前記デジタルマイクロミラーデバイスの１つ以上のピクセルを「オン」状態に位置させることを含む、請求項９に記載の方法。

【請求項１１】

前記少なくとも１つの屈折素子の回転位置を変化させるステップは、前記少なくとも１つの屈折素子を回転させて前記表面に対する前記画像の位置をシフトさせることを含む、請求項９に記載の方法。

【請求項１２】

前記少なくとも１つの屈折素子を配置するステップは、

第１の屈折ピクセルシフトを前記表示ユニットと前記表面との間に配置し、前記第１の屈折ピクセルシフトは第１の回転軸を中心に所望の位置に旋回され、

第２の屈折ピクセルシフトを前記第１の屈折ピクセルシフトと前記表面との間に配置し、前記第２の屈折ピクセルシフトは前記第１の回転軸とは異なる第２の回転軸を中心に所望の位置に旋回されること、を含む請求項９に記載の方法。

【請求項１３】

前記第２の回転軸は、前記第１の回転軸に実質的に垂直である、請求項１２に記載の方法。

【請求項１４】

前記少なくとも１つの屈折素子を配置するステップは、前記表示ユニットと前記表面との間に複数の静屈折素子を配置することを含む、

前記少なくとも１つの屈折素子の回転位置を変化させるステップは、前記複数の静屈折素子を前記表面に対して異なる角度で配置することを含む、請求項９に記載の方法。

【請求項１５】

前記１つ以上の放射ビームが前記少なくとも１つの屈折素子を透過する前に、前記１つ以上の放射ビームをコリメートするステップを含む、請求項９に記載の方法。

【請求項１６】

前記表面上の前記画像のサイズを調整するために、前記少なくとも１つの屈折素子からの前記放射ビームを集束させるステップを含む、請求項９に記載の方法。

【請求項１７】

三次元物体を造形する装置であって、

造形プラットフォームと、

粉末材料を造形プラットフォームに供給するように構成された粉末移送装置であって、粉末ホッパーと、前記粉末ホッパーと通信し、前記粉末ホッパーから前記造形プラットフォームに粉末材料を選択的に分配するように構成された粉末計量システムとを備える、粉末移送装置と、

堆積された粉末材料の少なくとも一部に少なくとも１つの光硬化性材料を供給するように構成された光硬化性材料供給システムと、

前記光硬化性材料を選択的に照射して、粉末複合部品の層を少なくとも部分的に固化するように構成されたイメージング装置と、を備える、装置。

【請求項１８】

前記粉末軽量システムは、

前記粉末ホッパーから前記粉末材料を受け取るように構成された粉末マニホールドであって、前記粉末材料を前記造形プラットフォームに供給するように構成された１つ以上の狭い通路を有する、粉末マニホールドと、

前記１つ以上の狭い通路を通して前記粉末材料を選択的に供給するように構成された１つ以上のアクチュエータと、を備える、請求項１７に記載の装置。

【請求項１９】

10

20

30

40

50

前記 1 つ以上のアクチュエータは、前記 1 つ以上の狭い通路の少なくとも 1 つにおいてまたはその付近で前記粉末材料を攪拌して、前記粉末材料を前記 1 つ以上の狭い通路の少なくとも 1 つをそれぞれ通して流すように構成されている、請求項 18 に記載の装置。

【請求項 20】

前記粉末マニホールドは、第 1 の方向に直線的に延びるとともに、前記第 1 の方向に実質的に垂直な第 2 の方向に並進して、前記造形プラットフォーム上に前記粉末材料の層を分布させるように構成されている、請求項 18 に記載の装置。

【請求項 21】

前記粉末計量システムは、堆積される粉末の蓄積量を測定するように構成されたフィードバックシステムを備え、前記粉末計量システムは、前記フィードバックシステムから受信した入力に基づいて前記粉末材料の分布を変えるように制御される、請求項 17 に記載の装置。

10

【請求項 22】

前記粉末材料が前記造形プラットフォーム上に堆積される際に、前記粉末材料を平坦化するように構成されたレベリング装置を備える、請求項 17 に記載の装置。

【請求項 23】

粉末複合造形マシンの造形プラットフォームに粉末材料を供給する方法であり、該方法は、

粉末材料を粉末ホッパーから造形プラットフォームに選択的に分配するステップと、
前記粉体ホッパーと通信する粉体計量システムを使用して前記粉体材料の供給を制御するステップと、
を備える、方法。

20

【請求項 24】

前記粉末計量システムを使用して前記粉末材料の供給を制御するステップは、
前記造形プラットフォームに前記粉末材料を供給するように構成された 1 つ以上の狭い通路を有する粉末マニホールドに前記粉末ホッパーから前記粉末材料を供給するステップと、

1 つ以上のアクチュエータを作動させて前記粉末材料を前記 1 つ以上の狭い通路を通して選択的に供給するステップと、
を備える、請求項 23 に記載の方法。

30

【請求項 25】

前記 1 つ以上のアクチュエータを作動させるステップは、前記 1 つ以上の狭い通路の少なくとも 1 つにおいてまたはその付近で前記粉末材料を攪拌して前記粉末材料を前記 1 つ以上の狭い通路の少なくとも 1 つをそれぞれ通して流すことを含む、請求項 24 に記載の方法。

【請求項 26】

前記粉末マニホールドは第 1 の方向に直線的に延びるとともに、前記粉末マニホールドは前記第 1 の方向に実質的に垂直な第 2 の方向に並進し、

前記造形プラットフォーム上に粉末材料の層を分布させるために前記 1 つ以上のアクチュエータを作動させる、
請求項 24 に記載の方法。

40

【請求項 27】

前記粉末計量システムを使用して粉末材料の供給を制御するステップは、層を生成するために静電荷を印加して粉末を移動させることを含む、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 28】

前記粉末材料は、静電操作を容易にする酸化物層を生成するように処理される金属材料を含む、請求項 27 に記載の方法。

【請求項 29】

前記粉末材料は、静電操作を容易にするためにポリマーフィルムで被覆される、請求項 27 に記載の方法。

50

【請求項 30】

前記粉末ホッパーから粉末材料を選択的に分配するステップは、前記粉末材料の懸濁液を分配することを含む、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 31】

堆積される粉末の蓄積量を測定するステップと、
測定された蓄積量に基づいて前記粉末材料の供給を変化させるステップと、
を備える、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 32】

前記粉末材料が前記造形プラットフォーム上に堆積される際に、前記粉末材料を平坦化するステップを備える、請求項 23 に記載の方法。

10

【請求項 33】

粉末複合材料の造形方法であって、該方法は、
粉末材料を造形プラットフォームに供給するステップと、
前記粉末材料に光硬化性材料を注入するステップと、
イメージング装置を選択的に作動させて前記光硬化性材料を照射し、粉末複合部品の層を少なくとも部分的に凝固させるステップと、
を備え、

前記光硬化性材料は、少なくとも反応性モノマーまたはオリゴマーを含む少なくとも 1 つの樹脂材料と、照射による刺激を受けたとき前記モノマーまたはオリゴマー成分を重合するように構成された光開始剤とを含む、
方法。

20

【請求項 34】

前記光開始剤は、前記光硬化性材料の 1 % を超える質量濃度を有する、請求項 33 に記載の方法。

【請求項 35】

前記少なくとも 1 つの樹脂材料は、触媒分解プロセスを使用して除去可能な成分を含み、
前記反応性モノマーまたはオリゴマーは、前記触媒分解プロセスで使用される触媒と非反応性である、請求項 33 に記載の方法。

30

【請求項 36】

前記少なくとも 1 つの樹脂材料は、触媒分解プロセスを使用して除去可能な成分を含み、
前記光硬化性材料は、前記触媒分解プロセスで使用される触媒と非反応性である、請求項 33 に記載の方法。

【請求項 37】

前記少なくとも 1 つの樹脂材料は、前記光硬化性材料が溶解しない溶媒に溶解する成分を含む、請求項 33 に記載の方法。

【請求項 38】

前記少なくとも 1 つの樹脂材料が、前記光硬化性材料の第 2 の融点よりも低い第 1 の融点を有する添加成分を含み、
前記方法は、前記第 1 の融点より高い温度で実行される、請求項 33 に記載の方法。

40

【請求項 39】

前記光硬化性材料は、前記触媒分解プロセスで分解するように構成され、
前記添加成分は、前記触媒分解プロセスで使用される触媒と非反応性である、請求項 38 に記載の方法。

【請求項 40】

前記光硬化性材料は、前記添加成分が不溶性である溶媒に可溶性である、請求項 38 に記載の方法。

【請求項 41】

三次元物体を造形する装置であって、

50

粉末材料を造形プラットフォームに供給するように構成された粉末移送装置と、
前記造形プラットフォームと通信し、堆積された粉末材料の少なくとも一部に少なくとも1つの光硬化性材料を供給するように構成された光硬化性材料供給システムと、
前記光硬化性材料を選択的に照射して粉末複合部品の層を少なくとも部分的に固化するように構成されたイメージング装置と、
前記堆積された粉末材料への前記少なくとも1つの光硬化性材料の供給を監視するように構成された視覚的フィードバックシステムと、
を備える、装置。

【請求項42】

前記視覚フィードバックシステムは、特定の粉末材料の注入に対応する波長に対して較正される、請求項41に記載の装置。

10

【請求項43】

三次元物体を造形する方法であって、該方法は、
粉末材料を造形プラットフォームに供給するステップと、
堆積された前記粉末材料の少なくとも一部に少なくとも1つの光硬化性材料を注入するステップと、
イメージング装置を選択的に作動させて前記光硬化性材料を照射し、粉末複合成分の層を少なくとも部分的に凝固させるステップと、
前記堆積された粉末材料への前記少なくとも1つの光硬化性材料の注入を監視するステップと、
前記監視に応答して、前記粉末材料の注入または前記イメージング装置の選択的作動の1つ以上を制御するステップと、
を備える、方法。

20

【請求項44】

前記粉末材料の注入を監視するステップは、前記注入を視覚的に監視する1つ以上のカメラを配置することを含む、請求項43に記載の方法。

【請求項45】

前記注入を監視するステップは、所定の粉末材料の注入に対応する波長に対して調整される、請求項43に記載の方法。

30

【請求項46】

前記粉末複合部品の所望の境界に対する前記堆積された粉末材料の近接度を測定するステップを備え、
前記画像装置を選択的に作動させるステップは、前記粉末複合部品の所望の形状を達成するために前記光硬化性材料のどの部分が照射されるかを調整することを含む、請求項43に記載の方法。

【請求項47】

三次元物体を製造する方法であって、
粉末材料を造形プラットフォームに供給するステップと、
堆積された粉末材料の一部に少なくとも1つの光硬化性材料を注入するステップと、
粉末材料の部分層を結合するために、前記光硬化性材料の一部を前記堆積された粉末材料に部分的に注入されるとき少なくとも部分的に硬化させるステップと、
を備える、方法。

40

【請求項48】

前記光硬化性材料の一部を少なくとも部分的に硬化させるステップは、前記光硬化性材料の一部が硬化する深さを制限するために1つ以上の硬化パラメータを調整することを含む、請求項47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]

50

本願は、2017年8月2日付の米国仮特許出願第62/540、392号の優先権を主張するものであり、その開示は全体が参照により本願に取り込まれる。

【0002】

本願に開示する主題は、一般的には物体の立体自由造形方法に関する。特に、本主題は、金属材料、プラスチック材料、セラミック材料、および1種以上の材料の組み合わせからなる複合材料から物体を立体自由造形するためのシステム、装置及び方法に関する。

【背景技術】

【0003】

本願に記載する実施形態は、一般的に金属材料、プラスチック材料、セラミック材料、又は1種以上の材料の組み合わせからなる複合材料から物体を立体自由造形するためのシステム、装置及び方法に関する。

【0004】

アディティブマニュファクチャリング(AM)は、立体自由造形(SFF)、3次元印刷(3DP)及びソリッドイメージングとしても既知であり、視覚的に実証的で機能的な部品の試作のために益々広範に採用されるに至っている。幾つかの場合、これは量産製造のためにも最も経済的な手段となっている。デジタルモデルに基づいて部品を製造するための様々な手段が存在しており、それらは何れも完全な設計サイクルのために必要とされる時間及びコストを削減するものであり、これにより多くの業界において技術革新のペースが向上している。

【0005】

一般的に、SFFは積層方式で実行され、この場合にはデジタルモデルが水平なスライスに分割され、各スライスが造形面上に二次元画像として形成される。これらのスライスが連続的に形成されて薄い層の集積体が製造され、それらの層全体がデジタルモデルで表される三次元物体を構成する。伝統的な製造技術、例えばコンピュータ数値制御(CNC)による機械加工、射出成形、及びその他の技法とは対照的に、SFFは、製造時間及びコストを大幅に低減するものであり、よって、伝統的技法による少量生産では過度に高額となり得る研究及び開発目的で広範に適用されるに至っている。更に、一般的にSFF装置は、CNC工作機械と比較して高度の熟練が不要である。CNC工作機械により製造される個別部品は、長いセットアップ時間および高い機械稼働コストのために、一般的にコスト高である。CNCで製造される部品は、多くの場合、SFFで製造される部品よりも高強度で高精細であり、これにより幾つかの用途に好適とされている。そして、CNCで製造される部品の解像度及び機能性をSFF技術により達成可能になるまで、部品製造でのSFFの使用は制約されたままであろう。

【0006】

粉末射出成形(PIM)は、他の成形方法では伝統的に不可能とされていた精密部品の製造技術として広範に適用されるに至った量産技術である。粉末を樹脂結合剤とブレンドして射出原料を形成し、これをプラスチック射出成形と同様の金型内に射出する。製造される部品は、「グリーン」パーツと称される粉末複合パーツである。グリーンパーツは、結合剤を略完全に除去する「デバインディング」と称されるプロセスで処理される。その結果として得られるパーツは、「ブラウン」パーツと称される。次に、このブラウンパーツに熱処理を施して、粉末粒子を互いに焼結させる。このプロセスの間にパーツは収縮し、粉末粒子間の空孔が取り除かれる。最終結果物は略完全密度を有するパーツとなる。更なる後処理を行えば、密度を99.5%超とすることもできる。

【0007】

SFFのために最も普通に適用される技術の幾つかには、ステレオリソグラフィー(SLA)、選択堆積モデリング(SDM)、熱融解堆積モデリング(FDM)及び選択レーザ焼結(SLS)が含まれる。これらのアプローチは、使用可能な材料、層の生成態様、並びに製造されるパーツの解像度及び品質が異なる。典型的には、層は、バルク材料堆積法又は選択材料堆積法により形成される。層生成のためにバルク堆積法を使用する技術において、層イメージングは、典型的には熱的、化学的又は光学的プロセスによって達成され

10

20

30

40

50

る。インクジェット印刷ヘッドを使用して結合剤を粉末床内に堆積させることによって、P I Mプロセスにおける上述のグリーンパーツと同様なパーツを製造する技術、すなわちバインダージェット法が存在する。このグリーンパーツに同様の態様で後処理を施せば、最終部品を製造することができる。残念ながら、このプロセスによって製造される部品は、グリーンパーツを製造するプロセスの不完全性のため、多くの場合、高精度用途のための公差基準に適合するものではない。加えて、バインダージェットプロセスの精度および速度には限界がある。

【発明の概要】

【0008】

本願明細書には、様々な用途に供する部品（例えば、プラスチック部品、金属部品及びセラミック部品を）を製造するための立体自由造形装置及び関連する方法の実施形態が開示される。

10

【0009】

幾つかの実施形態において、本願明細書に開示するS F F方法及び装置は、デジタルモデルの3次元立体表現を生成するための材料層を受け取る表面と、所要の造形材料層を堆積させるための1つ又は複数の構成要素と、造形材料をデジタルモデルに含まれるデータに対応する断面にイメージングする1つ又は複数の構成要素とを含むことができる。一実施形態において、造形材料は粒状材料（例えば、粉末）と光硬化性樹脂材料とから構成される。粉末移送装置は、粉末材料を造形プラットフォームに送達するように構成され、光硬化性材料供給システムは、造形プラットフォームと通信し、少なくとも1つの光硬化性材料を堆積粉末材料の少なくとも一部に送達するように構成される。そして、イメージング装置は、光硬化性材料を選択的に照射して、粉末複合部品の層を少なくとも部分的に固化させるように構成される。造形表面での粒子状材料と光硬化性樹脂材料の組み合わせは、粉末複合部品を製造するために使用されてきた前述のデバイスのレオロジー的な制約を克服するものである。

20

【0010】

更に、幾つかの実施形態において、以下に記載する方法及び装置は、造形材料の1つとして粒状材料（例えば、セラミック材料、プラスチック材料又は金属材料）を使用することができる。この装置により製造されたパーツは、造形プロセスの完了後に、隣接粒子間の結合を促進する処理を施すことができる。そのような処理には、熱的、化学的及び圧力的処理、又はこれらの組み合わせが含まれるが、それらに限定されない。この製造及び処理プロセスの結果物には、固体金属部品、固体セラミック部品、固体プラスチック部品、多孔質金属部品、多孔質セラミック部品、多孔質プラスチック部品、固体複合プラスチック部品、並びに1種又は複数種の材料よりなる複合部品が含まれるが、それらに限定されない。

30

【0011】

粒状材料の材料堆積は、幾通りかの手段、例えば、ブレードメカニズムによる散布、粉体計量システムとブレードメカニズムの組み合わせによる散布、粉体計量システムとローラー機構の組み合わせによる散布、転写面への静電付着とそれに続く造形表面への付着、ローラー機構への静電付着とそれに続く造形表面への付着など、によって達成することができるが、それらに限定されない。光硬化性材料（例えば樹脂）の注入は、専用の注入造形プラットフォームによって造形中の部品の本体を通して注入することによって達成することができる。

40

【0012】

層イメージングはいくつかの手段によって達成することができ、例えばD L Pプロジェクタなどのプログラム可能な平面光源によるバルクイメージングが含まれ、この手段では投影システムの実効解像度を高めるために屈折ピクセルシフトシステムが利用されるが、これに限定されない。

【0013】

更に、一態様において、粒状材料及び樹脂材料で構成される複合物体を所与の三次元物

50

体を表すデジタルデータから製造することができる固体自由造形（SFF）装置が提供される。

【0014】

他の態様において、材料層を形成するためにバルク堆積法を使用するSFF装置が提供される。

【0015】

他の態様において、材料の複合層を形成するために粒状材料を光硬化性材料と組み合わせるSFF装置が提供される。

【0016】

他の態様において、材料の広範な組み合わせを使用可能とするために材料成分を互換可能とするSFF装置が提供される。

【0017】

他の態様において、注入造形プラットフォームにより粉末層へのin situ注入（原位置注入）を行って複合層を製造するSFF装置が提供される。

【0018】

他の態様において、SFF装置によって製造された物体は、材料成分の内部結合が向上するように熱的、化学的又は機械的に処理することができる。

【0019】

他の態様において、処理は、流体チャンバ内における加圧、溶媒への暴露、粒状材料の結合を促進するための昇温、造形プロセスに由来する内部応力を緩和するための昇温、あるいは粒状材料の部分的焼結とそれに続く主粒状材料よりも低融点の三次材料、例えばセラミック材料及び／又は金属材料、の注入を含むことができる。

【0020】

他の態様において、材料の堆積速度を最適にするためにフィードバックシステムを使用することができる。

【0021】

他の態様において、材料の堆積速度を最適にするために粉末計量システムをフィードバックシステムと連携して使用することができる。

【0022】

本発明のさらなる特徴は、添付の図面とともに本発明の以下の詳細な説明を参照するとより容易に明らかになるであろう。

【0023】

本発明の好ましい実施形態は、図面を参照して以下に説明される。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本開示の主題の一実施形態による立体自由造形用マシンの立面斜視図である。

【図2】図1のマシンに描かれた粉末堆積モジュールの立面斜視図である。

【図3】図2のモジュールの分解図である。

【図4】図2のモジュールの上方から見た斜視図である。

【図5A】図2のモジュールで使用される粉末計量システムの第1の構成配置における概略図である。

【図5B】図2のモジュールで使用される粉末計量システムの第2の構成配置における概略図である。

【図6】図2のモジュールを下から見た斜視断面図である。

【図7】図1のマシンで使用される粉末堆積モジュールの代替実施形態の上から見た斜視図である。

【図8】図2のモジュールの第2の実施形態の概略図である。

【図9】図2のモジュールの第3の実施形態の概略図である。

【図10】図2のモジュールの第4の実施形態の概略図である。

【図11】図2のモジュールの第5の実施形態の概略図である。

- 【図 1 2】図 1 のマシンの造形プラットフォームの立面斜視図である。
- 【図 1 3】図 1 2 の造形プラットフォームの下から見た斜視図である。
- 【図 1 4】図 1 2 の造形プラットフォームの分解図である。
- 【図 1 5】図 1 2 の造形プラットフォームの断面図である。
- 【図 1 6】図 1 2 の造形プラットフォームの樹脂分配コンポーネントの立面斜視図である。
- 【図 1 7】図 1 のマシンの投影モジュールの立面斜視図である。
- 【図 1 8】図 1 7 のピクセルシフトシステムの概略図である。
- 【図 1 9】図 1 7 の投影モジュールの第 2 の実施形態の立面斜視図である。
- 【図 2 0】図 1 7 の投影モジュールのデジタルマイクロミラーデバイスコンポーネントの第 1 の構成配置における立面斜視図である。 10
- 【図 2 1】図 1 7 の投影モジュールのデジタルマイクロミラーデバイスコンポーネントの第 2 の構成配置における立面斜視図である。
- 【図 2 2】図 1 7 の投影モジュールのデジタルマイクロミラーデバイスコンポーネントの第 2 の実施形態の立面斜視図である。
- 【図 2 3】図 2 0 のデジタルマイクロミラーデバイスコンポーネントに対応するイメージング領域の第 1 の設定における上面図である。
- 【図 2 4】図 2 0 のデジタルマイクロミラーデバイスコンポーネントに対応するイメージング領域の第 2 の設定における上面図である。
- 【図 2 5】図 2 0 のデジタルマイクロミラーデバイスコンポーネントに対応するイメージング領域の第 3 の設定における上面図である。 20
- 【図 2 6 A】図 1 のマシンで製造し得る部品の立面斜視図である。
- 【図 2 6 B】図 2 6 A の部品の下方からの斜視図である。
- 【図 2 7】図 2 6 A の部品の第 1 の断面の製造に対応するイメージング領域の上面図である。
- 【図 2 8】図 2 6 A の部品の第 2 の断面の製造に対応するイメージング領域の上面図である。
- 【図 2 9】図 2 6 A の部品の第 3 の断面の製造に対応するイメージング領域の上面図である。
- 【図 3 0 A】第 2 の構成における図 2 6 A の部品の立面斜視図である。 30
- 【図 3 0 B】図 3 0 A の部品の断面図である。
- 【図 3 1】第 1 の構成において図 1 のマシンで実施されるプロセスの精度を高めるプロセスの概略図である。
- 【図 3 2】第 2 の構成において図 1 の機械で実施されるプロセスの精度を高めるプロセスの概略図である。
- 【図 3 3】図 1 の機械で実施されるプロセスにおいて材料をイメージングする代替方法を含むイメージングシステムである。
- 【図 3 4】図 3 3 のシステムに関する、図 1 7 の投影モジュールの代替実施形態である。
- 【図 3 5】図 1 のマシンの下からの斜視図である。
- 【図 3 6】図 1 9 の投影モジュールのエラー補正方法を示すアルゴリズムのフローチャートである。 40
- 【図 3 7】図 1 のシステムを異なる粉末材料に自動的に適合させる方法を示すアルゴリズムフローチャートである。
- 【図 3 8】粉末堆積プロセスにおける欠陥を補償するためのエラー補正方法を示すアルゴリズムのフローチャートである。
- 【図 3 9】第 1 の構成におけるシステムスループットの改善を促進するための支持材を含む図 1 のマシンの造形プロセスの上方からの斜視図である。
- 【図 4 0】第 2 の構成におけるシステムスループットの改善を促進するための支持材を含む図 1 の機械の造形プロセスの上方からの斜視図である。
- 【図 4 1 A】図 4 0 で造形中の部品を上から見た斜視図である。 50

【図 4 1 B】図 4 0 で造形中の部品を下から見た斜視図である。

【図 4 2】図 4 0 で造形中の部品を取り扱うための自動化システムの斜視図である。

【図 4 3】図 4 0 で構築中の部品から取り外し可能な特徴部を生成する方法の概略図である。

【図 4 4 A】後処理で利用されるベクトルが付された図 4 1 A の部品の上からの斜視図である。

【図 4 4 B】図 4 4 A の部品の下からの斜視図である。

【図 4 5】図 1 のマシンで造形し得る一組の部品および支持材の上方からの斜視図である。

【図 4 6】図 4 5 の部品および支持材の分解図である。

10

【図 4 7】図 4 5 の支持材の 1 つのセクションの上からの斜視図である。

【図 4 8】粉末計量システムの別の実施形態の立面斜視図である。

【図 4 9】図 4 8 のシステムの第 1 の断面図である。

【図 5 0】図 4 8 のシステムの第 2 の断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

樹脂注入粉末リソグラフィー（R I P L）は、粉末堆積、粉末注入、およびイメージングの 3 つの主要プロセスに基づいた技術である。図 1 は、この技術に基づいた S F F 用のマシン（400）を示し、このマシンは粉末堆積モジュール（100）と、粉末注入プラットフォーム（200）と、複数の投影モジュール（300）で構成し得るイメージングシステムとを含む。粉末堆積モジュール（100）は、例えばリニアアクチュエータ（410、412）などによって、粉末注入プラットフォーム（200）を横切って移動し、プラットフォーム（200）を横断する際に粉末を堆積させる。プラットフォーム（200）は、垂直アクチュエータ（402、404、406、408）などによって下げられるため、後続の材料層が堆積され、三次元物体を造形することができる。供給システムから供給される樹脂などの光硬化性材料が、注入プラットフォーム（200）を介して堆積粉末の少なくとも一部に注入され、その光硬化性材料を投影モジュール（300）から放射される光によって選択的に照射して粉末複合部品の層を少なくとも部分的に固化させる。これにより、部品が層ごとに造形され、その詳細については以下で説明される。

20

【0026】

30

図 2 ~ 4 は、粉末堆積モジュール（100）をより詳細に示している。モジュール（100）は粉末ホッパー（102）により構成され、そこから粉末（116）を分配することができる。いくつかの実施形態では、粉末は、モジュール（100）の長さに沿って粉末（116）を分配する（例えば、実質的に均一に分散する）ように構成された粉末計量マニホールド（106）にホッパー（102）から引き込まれる。いくつかの実施形態では、粉末マニホールド（106）は、第 1 の方向に直線的に延び、例えば第 1 の方向に実質的に直角の第 2 の方向に並進して、プラットフォーム（200）上に粉末材料の層を分配するように構成される。いくつかの実施形態では、例えば、回転アクチュエータ（104）によって駆動される粉末分配スクリー（110）がホッパー（102）およびマニホールド（106）と連通して位置する。図 4 に詳細に見られるように、粉末分配スクリー（110）がホッパー（102）から粉末計量マニホールド（106）に粉末（116）を運ぶ。

40

【0027】

図 5 A および 5 B は、粉末（116）がマニホールド（106）により計量される方法を示している。マニホールド（106）は、ここでは粉末材料を造形プラットフォームに供給するように構成された 2 つの平行な平面（120、122）によって画定される 1 つ以上の狭い通路を含むことができる。通常、粉末（116）がこの種の狭い隙間を流れると、（例えば、静電気、ファンデルワールス、または他の力により凝集などが生じ得ることによって）アーチ（124）が形成され、および/または粉末の動きが妨げられ、流れが停止する。流路画定面（120、122）が機械的に刺激される（たとえば、図 5 B に示す

50

ように横方向に振動される)と、アーチ(124)が乱され、粉末(116)が自由に流れるようになる。代わりにまたは加えて、粉末を攪拌してマニホルドを通過するように刺激してもよい。どのような構成でも、この種の機械的刺激は、粉体の流れをオンまたはオフするメカニズムを提供する。これに関して、いくつかの実施形態では、粉末(116)は、マニホルド(106)から制御可能に計量することができる。具体的には、いくつかの実施形態では、粉末材料を1つ以上の狭い通路のそれぞれに通過させるために、1つまたは複数のマニホルダクチュエータ(112)を、1つまたは複数の狭い通路の少なくとも1つまたはその付近で粉末材料を攪拌してマニホルドからの粉末の供給を制御するように構成することができる。いくつかの実施形態では、粉末蓄積センサー(114)をこの攪拌に対するフィードバック源として使用することができる。図6は、この粉末堆積モジュール(100)の別の図を示している。マニホルダクチュエータ(112)は、粉末(116)の自由な流れを可能にするために、前述の機械的刺激(例えば、横方向の振動)を生成するように動作することができる。

10

20

30

40

50

【0028】

モジュール(100)が粉末の層を堆積しているとき、場合によっては、マニホルド(106)から出てくる粉末は均一な層ではないことがある。粉末が堆積されているとき、粉末の蓄積を測定するフィードバックシステムを設けることができ、フィードバックシステムから受け取った入力に基づいて粉末材料の分布を変えるように粉末計量システムを制御することができる。いくつかの実施形態では、粉末注入プラットフォーム(200)に供給される粉末材料を平坦化するためにレベリング装置が使用される。例えば、ドクターブレード(118)を使用して、層の寸法と平坦度を調整することができる。粉末(116)は、このプロセス中にブレード(118)上に蓄積することができ、この蓄積は蓄積センサー(114)によって検知される。この配置は、マニホルド(106)がアクチュエータ(112)によって受ける刺激の程度を調整するフィードバック機構として機能する。堆積速度を最適化し、ブレード(118)の摩耗を最小限に抑えるには、ブレード(118)の堆積が最小限であることが望ましい。このフィードバック機構は、導電性粉末の近接容量感知、接触ベース感知、または所与の材料の存在を検出する他の既知の方法に基づいてもよい。代替実施形態では、ブレード(118)は、一般に、逆回転ローラーまたは堆積した粉末の層を調節する他の任意の既知の手段に置き換えることができる。

【0029】

図7は、粉末堆積マニホルド(100)の代替実施形態を示し、重要な違いは粉末分配マニホルド(126)と連通する複数の針状ノズル(128)を利用することにある。これは、平面状の堆積構造ではなく、複数の粉末のラインを堆積するが、ドクターブレード(118)、逆回転ローラー、または当業者に知られている他のさまざまな手段によって、均一な粉末の層に変換することができる。

【0030】

これらの実施形態は、代表的な例として意図され、本開示の範囲を制限するものではない。一般に、本開示は、細長い開口部を有し、その開口部自体が粉末流量弁を提供するように、またはその開口部が粉末流量弁を提供するような物体で塞がれるように構成された任意の容器の使用を含むことを意図し、ここで、粉体流量弁は、かく乱されないときまたは十分に刺激されないとき粉末の流れを妨げ、十分な機械的刺激を受けたときに粉体の流れを可能にする任意の流路である。そして、この容器で造形表面を走査することによって粉末の層を生成する手段が提供される。この目的のために、第3の実施形態では、底がメッシュスクリーンで覆われた細長いスロットを有する粉末容器を使用することができ、メッシュスクリーンの開口部は、十分な機械的刺激が提供されない限り粉末の流れを妨げるように適切なサイズにされる。この実施形態は、粉末弁システムとして適切なサイズの複数の開口を使用するという点で、前述のニードルシステムの延長である。

【0031】

図8~11は、前述した材料堆積の動作速度を増加させる複数の手段を示す。ここでは、前述のコンポーネントの略図が使用されている。複数の粉末堆積モジュール(130、

142, 144) を使用して、粉末(134, 136, 138)の層を連続的に堆積させ、それらの堆積プロセスをオーバーラップさせてシステム全体の動作速度を向上させることができる。

【0032】

図8は、各層の厚さに応じて異なる高さの堆積モジュール(130、142、144)で順に堆積された複数の層を示す。これにより、システムの動作速度が向上するが、堆積モジュール(130、142、144)を水平および垂直の両方の運動制御が必要になる可能性があるという欠点がある。

【0033】

注入の代替手段について以前に言及したが、追加の図でさらに説明する。図9は樹脂を粉末に注入する1つの手段を示す。スプレーモジュール(132、146、148)を使用して、樹脂の液滴を粉末基材に向けて噴出し、粉末に樹脂を効果的に完全に注入することができる。この方法では、エレクトロウェットिंग挙動を促進して注入プロセスを促進するために、樹脂の小滴を静電的に帯電させることができる。いくつかの実施形態では、粉末堆積は、流体媒体(例えば、極性溶媒)中の粉末粒子の揮発性懸濁液によって達成することができ、流体は、粉末を注入するために使用される樹脂バインダーと非混和性であり、流体バインダーは堆積直後に蒸発し(たとえば、1秒以内)、粉末粒子が残る。この懸濁液は、押出法またはスプレー法で堆積させることができる。

【0034】

図10は、複数の堆積モジュール(130、142、144)を使用する代替手段を示す。この実施形態では、造形プラットフォーム(140)が下方に移動する間に層が生成され、その動きは堆積モジュール(130、142、144)の横方向の動きと同期される。これは傾斜層を生成するが、堆積モジュール(130、142、144)の垂直移動は必要ない。どちらの実施形態でも、製造中の部品に対する材料の位置を補正するために、イメージング方法を実施することができる。

【0035】

図11は、粉末堆積の追加の手段を示し、静電粉末ローラー(150)を使用して、粉末を造形プラットフォーム(140)上に堆積させることができる。一般に、粉末を造形プラットフォーム(140)に転写する前に、粉末をローラー(150)に静電的に塗布する。ローラー(150)を粉末で塗布することは、別個に、またはプラットフォーム(140)上に粉体を堆積させることと同期して行うことができる。静電粉末転写は、一般に、粒子材料を処理する高速かつ高精度の方法として認識されている。

【0036】

静電粉末転写を利用する場合、表面電荷が粒子操作の主要な手段であるため、一般に非導電性材料の使用がより簡単である。このシステムで金属粉末を使用する場合、静電堆積を容易にするために使用できるいくつかの方法がある。堆積の前にポリマーコーティングを金属粉末粒子に塗布することができ、それにより表面電荷を与えることができる絶縁表面を提供することができる。このコーティングは、後処理中に除去することができる。さらに、粉末粒子を酸化して、表面に絶縁酸化物層を生成し、静電粉末転写を可能にすることもできる。粉末堆積が行われた後、この酸化物層を還元雰囲気中の熱処理または他の還元手段を用いて除去することができる。酸化物層を除去するもう1つの方法は、注入中に酸化物層と反応し、酸化物層を除去する酸性樹脂を使用するものである。

【0037】

任意の実施態様において、エレクトロウェットिंग挙動を促進して注入プロセスを促進するために、粉末が堆積されるときに電荷を粉末に付与することができる。これは一般に導電性粉末に対して機能するが、絶縁性粉末および導電性樹脂とともに使用することもできる。

【0038】

図12～16は、粉末注入プラットフォームを示す。これは、3次元物体を造形するプラットフォームである。図示の構成では、プラットフォームは、ベース(202)、多孔

10

20

30

40

50

質作業面（204）、流量制御アクチュエータ（206、208、210）、流量抑制部（214、216、218）、および樹脂入口マニホールド（212）からなる。粉末が作業面（204）に堆積された後、樹脂が樹脂入口マニホールド（212）に供給される。次いで、樹脂は、3つのポート（220、222、224）を通してベース（202）の3つの領域に流入することができる。いくつかの実施形態では、これらの3つのポート（220、222、224）を通る流量は、3つの流量抑制部（214、216、218）によって制御される。流量抑制器（214、216、218）の位置は、3つの流量制御アクチュエータ（206、208、210）によって制御することができる。ベース（202）は、作業面（204）を支持するがベース（202）内の残りの容積の大部分を開いたままにするピン機構の配列を有し、これにより作業面（204）のすべての領域への樹脂の自由な流れを可能にすることができる。この点に関して、ピン機構は、ベース（202）を通る樹脂の分散を阻害することなく、作業面（204）の構造的安定性を提供する。例えば、図12～16に示される特定の実施形態では、ベース（202）は、3つのポート（220、222、224）とそれぞれ関連する3つの大きな開放空洞を効果的に提供する。

10

【0039】

この構成は、樹脂の流れを制御するマルチチャンネルニードルバルブシステムとして機能する。ここには3つの別個の流体通路が示されているが、一般にそれらはいくつでも、作業面（204）に制御された方法で樹脂を供給する任意の構成で実装することができる。3つの入口ポート（220、222、224）における樹脂の流れに対応するベース（202）および作業面（204）の3つの領域は大きく離れているが、ベース（202）の構造は一般に独立して制御される流れの領域が混ざり合うように設計することができる。流れは、この実施形態のように、複数の調整バルブを備えた単一の供給源によって制御するか、または任意の数のポンプ供給源と調整バルブを用いて制御することができる。さらに、樹脂源を大気圧に維持しながら、真空圧を造形領域に加えることができる。この差圧は、樹脂の流れを提供する主な手段であり、調整バルブにより造形プロセスにおいて正確な領域で流れを制御することができる。さらに、高精度製造に使用される微小粉末は、攪拌されると自己エアロゾル化する傾向があるため、造形領域内で真空を使用すると粉末の堆積が促進され得る。さらに、樹脂は、作業範囲の外にある供給ホッパーを介して重力供給してもよい。静圧（重力供給容器の高さによる）、真空圧、およびポンプシステムによる印加圧力を任意の組み合わせで使用して樹脂を造形プロセスに供給することができる。

20

30

【0040】

特定の構成に関係なく、作業面（204）は多孔質であり、樹脂がそれを通して、その上に堆積された粉末層に流入することを可能にする。この樹脂は光で硬化し、粉末を特定の形状に固定して、3次元の物体を構築することができる。樹脂を硬化させて層状に物体を構築する正確な手段についてさらに詳しく説明する。一般に、このプラットフォームシステムの一部または全部は、パレット化製造を容易にするために製造装置から取り外し可能である。1つの造形プロセスの結果物は、別の造形プロセスの実行中に後処理することができる。

40

【0041】

前述のすべての実施形態において、製造プロセスは、粉末堆積ステップおよび粉末への光硬化性樹脂注入ステップを含む。粉末と光硬化性樹脂の組み合わせは、使用する粉末の光学特性に応じて、この樹脂の組成にいくつかの制約を課す。一般に、複合材料への光学的浸透は、光学障害剤としての粉末の存在を考えると、従来のステレオリソグラフィー樹脂よりも低くなる。いくつかの実施形態では、光硬化性材料の硬化を改善するために、光硬化性材料は、少なくとも反応性モノマーまたはオリゴマーなどの少なくとも1つの樹脂材料を含み、光硬化性材料はさらに、照射による刺激を受けるとモノマーまたはオリゴマー成分を重合するよう構成された光開始剤を含むことができる。このシステムで使用される樹脂は一般に、いくつかのタイプのモノマー、例えばアクリレート、ポリエチレンのモ

50

ノマーおよび/またはオリゴマー、ポリプロピレンのモノマーおよび/またはオリゴマーなど、を含むが、これらに限定されない。このシステムで使用される樹脂は、フリーラジカルおよび/またはカチオン重合反応を開始するために光開始剤を使用することができるが、金属粉末を使用する場合には、光開始剤の質量濃度を1%より大きくすると、光学阻害剤としての粉末の存在を補償することができる可能性が高い。いくつかの実施形態では、例えば、光開始剤の質量濃度は約1%から約50%の間とし得る。いくつかの特定の実施形態では、約3%～約35%の範囲の質量濃度は、粉末による光学的阻害を克服するのに有効な組成を提供し、約5%～20%の範囲は粉末体積の最大化とフリーラジカルおよび/またはカチオン重合の開始の改善とのバランスを提供する。

【0042】

多くの場合、この方法で造形される部品は、粉末を固体物体に焼結させることによって加工処理することが望ましい。これらの場合、後処理を補助するために、樹脂配合物に添加剤を含めることができる。金属射出成形(MIM)などの粉末複合部品を固体モノリシックコンポーネントに焼結する熱後処理を使用する他の複合造形プロセスでは、多くの場合、部品が焼結される前にバインダーの大部分を除去するバインダー除去工程がある。通常、これらのバインダー除去プロセスは、触媒バインダー除去、溶媒バインダー除去、または熱バインダー除去の3つの方法のいずれかを含む。

【0043】

触媒バインダー除去プロセスでは、樹脂材料は触媒分解プロセスによって除去可能な成分を含み、一般に光硬化性材料または反応性モノマーまたはオリゴマーは特に触媒分解プロセスで使用される触媒と非反応性である。いくつかの実施形態では、硝酸蒸気を使用して、典型的にはアセタールホモポリマーとオレフィンからなるハイブリッドバインダーの1つの成分を除去する。アセタールは硝酸によって除去され、焼結中に除去することができるオレフィン結合剤が残る。溶剤バインダー除去プロセスでは、樹脂材料は、光硬化性材料が溶けない溶剤に溶ける成分を含む。いくつかの実施形態では、ハイブリッドバインダーが再び使用され、1つの成分は特定の溶媒に可溶であり、バインダー除去中にその成分が除去される。この方法の一般的な実施形態は、アセタールとポリエチレングリコール(PEG)のブレンドである。PEGは水溶性であり、通常、バインダー除去中に温水浴で除去される。熱バインダー除去プロセスでは、樹脂材料は、一般に光硬化性材料の第2の融点よりも低い第1の融点を有する添加成分を含み、プロセスは第1の融点より高い温度で実行される。いくつかの実施形態では、ハイブリッドバインダーが再び利用され、1つの成分は、典型的にはバインダー除去プロセス中に溶け出し得る低融点ワックスである。一般に、2つの成分の融点が著しく異なる任意のバイナリバインダーシステムを熱バインダー除去システムに使用することができる。

【0044】

前述の実施形態のいずれかで利用されるプロセスでは、同様のハイブリッド材料を使用することができる。例えば、硝酸蒸気を使用して印刷造形部品から部分的に除去し得るハイブリッド材料を生成するために、アセタールのモノマーまたはオリゴマーをアクリレート樹脂ブレンドに組み入れてよい。一般に、少なくとも光開始剤、反応性フォトポリマーのモノマーおよび/またはオリゴマー、および触媒分解プロセスで除去できる別の成分を含む材料混合物はいずれも、この方法を使用するバインダー除去に効果的である。触媒分解を受けやすいフォトポリマーを、造形システムの動作温度で液体であり、触媒分解が起こり得る温度で固体である成分とともに、使用することも可能である。

【0045】

同様に、少なくとも光開始剤と、反応性フォトポリマーのモノマーおよび/またはオリゴマーと、特定の溶媒に溶解するが硬化したフォトポリマーが溶解しない別の成分とからなるハイブリッド材料を使用して部品を製造し、それらの部品は溶剤バインダー除去処理で処理することができる。さらに、特定の溶媒に溶けるフォトポリマーを、造形システムの動作温度で液体であり、溶媒バインダー除去が起こる温度で固体である成分とともに使用することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 6 】

同様に、少なくとも光開始剤と、反応性フォトリソグラフィーモノマーのモノマーおよび/またはオリゴマーと、硬化したフォトリソグラフィーモノマーよりも低い融解温度を有する別の成分とからなるハイブリッド材料を熱バインダー除去システムに使用することができ、造形された部品の温度を操作および更なる後処理のために下げる前に、造形プロセスを追加の成分の融点よりも高い温度で実行して余分な材料を除去することができる。

【 0 0 4 7 】

図 17 は、投影モジュール (300) を示す。このモジュールは、ベース (304) に取り付けられたユニット (302)、コリメーションレンズ (306)、屈折ピクセルシフタ (308、310)、およびデコリメーションレンズ (312) で構成される。図 18 に概略的に示されるように、表示ユニット (302) は、名目上特異点から発する複数のピクセルからなる画像を投影する。これらのピクセルを形成するビームは、すべてのビームが平行になるようにコリメートレンズ (306) によってコリメートされる。これらの平行ビームは、屈折ピクセルシフタ (308) を指定の角度だけ回転させることにより極めて高い精度でシフトさせることができる。周囲の媒体よりも高い屈折率の物体を通過する光は、その物体の屈折率、厚さ、角度位置に依存する量だけ横方向にシフトされることが知られている。このシステムは、標準の反射ピクセルシフトシステムとは対照的に、投影面上のピクセルの変位に関してナノスケールの精度を容易に達成することができる。このシステムにより、従来のどのイメージングシステムよりも大幅に高い精度で超高精度のデジタル製造が可能になる。図 17 に示す実施形態では、投影システム (300) は、画像を投影面内で任意の量だけシフトさせることができるように、2つのピクセルシフタ (308、310) を使用する。第 1 の屈折ピクセルシフタ (308) は第 1 の回転軸を中心に旋回可能であり、第 2 の屈折ピクセルシフタ (310) は第 1 の回転軸とは異なる第 2 の回転軸を中心に旋回可能である。いくつかの実施形態では、第 2 の回転軸は、第 1 の回転軸に実質的に垂直である。特定の構成に関係なく、1つ以上の放射ビームが屈折ピクセルシフタ (308、310) を透過して投影面に向けられた1つ以上の緊急の放射ビームを生成する。デコリメーションレンズ (312) は投影面に画像を望ましいサイズに結像する。

【 0 0 4 8 】

この投影システムの別の実施形態を図 19 に示す。このバージョンでは、コリメーション (306) およびデコリメーション (312) レンズが省略されている。これは、画像をシフトする前にコリメートしないという不利を有し、結果として不均一なシフト効果が生じる。これは、逆関数を決定するためにピクセルシフト効果をマッピングすることによって、ソフトウェアで補正することができる。この逆関数は、撮像面上の任意のピクセルの物理的位置を入力として受け取り、シフト効果の前に表示ユニット (302) によって生成された画像内のピクセルの対応する位置を計算する。この関数は、特定の物体を造形するために投影しシフトさせる必要がある所要の画像を決定するために、CAD データに適用することができる。

【 0 0 4 9 】

図 20 ~ 22 は、デジタルマイクロミラーデバイス (DMD) のいくつかの構成および実施形態を示す。DMD は、表示ユニット (302) の重要な要素である。チップ (322) に取り付けられたマイクロミラー (320) は、図 20 のように「オン」状態または図 21 のように「オフ」状態にすることができる。光源が DMD に入射光ビームを供給し、これらのビームは DMD が「オン」状態の場合に表示ユニット (302) からはずれる角度で反射され、「オフ」状態の場合に光吸収体へ反射される。個々のミラーを「オン」または「オフ」状態に選択することによって、画像を投影することができる。本システムのいくつかの実施形態では、図 22 のように、各ピクセル (320) の中心部 (324) のみが反射するのが好ましい。

【 0 0 5 0 】

図 23 ~ 25 は、上述のイメージングシステムのいくつかにさらされる投影面 (328

10

20

30

40

50

）を示す。図 2 3 は、すべてのピクセルが「オン」状態である場合の効果を示す。長方形の領域（3 2 6）が所望の画像である場合、図 2 4 に示すピクセルのみが「オン」状態になる。これは長方形の領域（3 2 6）を正確に表さない。そこで、ピクセルシフトを利用してよりリアルな表現を達成することができる。図 2 5 は、長方形領域（3 2 6）をより正確にイメージングするために、複数の露光を、各露光間でピクセルをシフトさせて実行する効果を示している。これにより、領域のエッジがより明確になる（つまり、ピクセルエッジ間の空間を埋めて、ピクセルのサイズに固有の精度レベルよりも精密な実効解像度を有する表面フィーチャを生成することができる）が、コーナ部の偏差を完全に解消するわけではなく、これは、図 2 2 で説明した DMD システムがある程度の利点をもたらす 1 つの例である。同様の利点は、マイクロミラーユニットを DMD チップ上にさらに離して配置し、その結果として得られる画像をより小さな領域にフォーカスすることによって実現することができる。全体的な効果は、一般に幅よりも大きい距離だけ離して配置され、対象領域を共同して完全にイメージングするようにシフトされる、小さなピクセルの配列を有することにある。

10

20

30

40

50

【0 0 5 1】

図 2 6 A および 2 6 B は、前述のシステムを使用して造形することができる物体を示す。それは、円筒形の本体（3 4 0）と突出部（3 4 2）を含む。前述したように、粉末がプラットフォームの上に広げられ、すべての空隙が樹脂で満たされるように樹脂が注入される。目的の物体の断面を形成するために樹脂が光により硬化され、すべての断面の集合体が目的の物体になる。これには明らかな制約があり、物体の 1 つの層の樹脂は、イメージングシステムによって硬化される部分が次の層の注入を制限する。

【0 0 5 2】

図 2 7 ~ 3 2 は、この効果を軽減し、この効果を利用してシステム性能を改善する手段を示している。固体断面の硬化は樹脂の流れに大きな制限を与える可能性があるが、格子構造（3 5 2）を利用することで、粉末を結合しながら樹脂を次の層に注入することができる。図 2 7 は、記載のシステムで造形している図 2 6 A の物体の層を示す。この層を生成するために格子パターン（3 5 2）の第 1 の構成要素が造形エリア（3 5 0）に投影される。追加の粉末が堆積され、樹脂が注入された後、格子パターンの第 2 の構成要素（3 5 4）が造形エリア（3 5 0）に投影される。これらの 2 つの構成要素を交互の層に投影して格子構造を造形することができる。一般に、粉末をしっかりと結合するにもかかわらず後続の粉体層への樹脂の注入を可能にする任意の構造を利用することができる。

【0 0 5 3】

図 2 9 は、造形される物体（3 4 0）の突出特徴部（3 4 2）を生成する 1 つの可能な方法を示している。格子パターンのより高密度の領域（3 5 6）を突出特徴部（3 4 2）の下向き面に使用し、低密度の格子パターン（3 5 8）をこの層の他の部分に使用することができる。高密度部分（3 5 6）の隙間が粒子径よりも小さければ、樹脂が後続の層に流れ込むための空隙が未硬化のままでも、粉末は固体層に結合する。このより密度の高い領域（3 5 6）は、以下で説明するように管理できる低密度領域（3 5 8）よりも限定的なフロー制約をもたらす。

【0 0 5 4】

図 3 0 A および 3 0 B は、下向き表面によってもたらされる流れ制限を補償する 1 つの方法を示す。表面（3 4 2）への樹脂の流れを導くために、表面（3 4 2）の下にスキン（3 6 0）を構築することができる。注入プラットフォーム（2 0 0）の構造に応じて、このスキン（3 6 0）を通る流れの圧力は、物体（3 4 0）自体を通る流れの圧力と無関係に制御することができる。したがって、差圧制御により流量を均等化することができる。

【0 0 5 5】

この技術により製造される部品は、熱的、化学的、または機械的処理により処理して樹脂バインダーを除去し、粉末材料を固体に凝縮することができる。この効果を達成するための最も一般的な手法は焼結である。多くの場合、焼結体は金属またはセラミック粉末と

固体ポリマーバインダーとで製造され、バインダーの大部分を除去するために化学的処理または熱的処理が施される。これにより、多孔質バインダー構造が生成され、残存するバインダーは焼結中に均一に除去することができる。造形プロセス中に多孔質の物体を作成することにより、この化学的または熱的処理プロセスを促進または排除することができ、したがって全体的なプロセス速度を向上させることができる。

【0056】

図30Aおよび30Bに示すように、フロー制御構造を硬化することにより別個の流路を規定する方法は、造形プラットフォームの異なる注入ゾーンを通して異なる領域に複数の樹脂材料を提供することによりさらに推定することができる。場合によっては、後処理時の焼結を促進するために、この手法を使用して、造形中の物体の境界で酸化金属粒子を生成するが、物体内の粒子は最小限の酸化のままにすることができる。酸化金属粒子は、非酸化金属粒子とともに焼結するために使用される温度では互いに焼結しないため、酸化は、焼結時に内部で結合するが酸化粒子によって規定される境界を越えて結合しない材料の領域を分離する手段として使用することができる。これは、単一の造形プロセスにおいて独立に移動する部品を含む完全なアセンブリを製造するため、または焼結プロセス中に部品を安定化するのに役立つ取り外し可能な支持材を生成するために使用することができる。

【0057】

図31および32は、このプロセスのさらなる利点を示している。多くのSFFプロセスにおいて、造形に使用される材料の層の厚さによって精度が大きく制約されます。図31からわかるように、材料が粉末の層に完全に注入される前に硬化した場合、原理的に部分的な層が達成される。部分的に注入された樹脂(374)は、粉末(372)を結合するために硬化させることができる。同様に、図32に示すように、硬化パラメータを調整して硬化深さを制限することができる。粉末層(372)に部分的にのみ浸透し、下に未硬化樹脂(378)を残す固化領域(376)を生成することができる。したがって、特定の層と完全に整合しない上向き表面および下向き表面を実現することができる。この方法は、一般に成形表面の品質および部品の精度を向上させるために使用することもできる。

【0058】

本システムの前述の実施形態では、造形領域を共同して完全にイメージングするために投影モジュールのアレイ(300)を使用している。前述のピクセルシフトシステムの利点の1つは、特定のモジュールによってイメージングされる領域のサイズを維持しながら、システムの解像度を倍増する効果があることである。これは、マイクロスケールおよびナノスケールの画像解像度が有用であるが、イメージングされる物体がメソスケールまたはマクロスケールであるシステムにとって特に重要である。これらの要件を備えたシステムでは、投影画像の焦点を所望の解像度を生成するのに十分な小さいピクセルを持つサイズにフォーカスすることが難しいことがあり、これが可能であっても、得られる画像は表示装置の物理的サイズより遥かに小さくなる。これは、造形領域全体を効率的にイメージングすることができるイメージングアレイを困難または不可能にする。造形領域全体をイメージングすることができる速度の最適化のために必要であり得る。

【0059】

代替システムは、アレイアライメントに垂直な方向に造形領域を横断する表示ユニットのリニアアレイで構成される。図33は、そのようなアレイの1つを示す。これは、投影ユニット(302)の法線ベクトルからあるオフセット角度で画像(380, 382, 384, 386)を投影することによって、投影画像よりも大きな表示ユニットを持つという問題を克服する。造形領域全体を順番にイメージングするために、アレイは造形領域に沿って指定された方向(388)に移動する。一般に、注入速度がこのプロセスのペースに合わせるのに十分な高さであると仮定すれば、この操作は粉末の堆積後に行うことができる。したがって、いくつかの実施形態では、粉末堆積モジュールとイメージングアレイがプラットフォームと一緒に横断するときに、粉末堆積、注入、およびイメージングを続

10

20

30

40

50

けざまに発生させることができる。

【 0 0 6 0 】

この例では、表示ユニットの合焦解像度は、造形されている物体の実効解像度である。図 3 4 は、リニアアレイのモジュールでプラットフォームを横断する方法に精度を加える投影モジュール (3 0 0) の代替実施形態を示す。この例では、複数の静的屈折要素 (3 9 0) を、画像が投影される表面に対して異なる角度で配置する。これらの静的屈折要素 (3 9 0) は、画像を互いに対してわずかにシフトしたセクションに分割するために使用される。これによりシステムの実効解像度が向上する。所望の解像度を達成するために、任意の数の屈折素子を使用することができる。

【 0 0 6 1 】

図 3 5 は、本実施形態の代替図を示す。前述したように、このシステムで実行される造形方法は、粉末の堆積、粉末への樹脂の注入、および樹脂を特定のパターンに硬化させるプロセスを含む。注入は毛管作用によってある程度自動的に行われるが、前述したように、さまざまなポンプシステムのいずれかで流量制御を利用することもできる。この場合、ポンプシステムをフィードバック制御するのが有用である。視覚的なフィードバック制御のためにカメラ (3 9 2) を使用し、注入プロセスを監視し、樹脂供給システムを制御することができる。このハードウェアは、障害検出や、構造化光またはレーザースキャンシステムによるレイヤートポグラフィの測定、投影モジュールのキャリブレーションや同期など、さまざまなシステム自動化アプリケーションに使用することもできる。

【 0 0 6 2 】

前述したように、投影モジュール (3 0 0) の複数の実施形態を使用することができる。これらの多くでは、屈折ピクセルシフトが実装されている。場合によっては、ピクセルシフトの程度は不均一または非線形である。これらの場合、最適な精度を実現するためにソフトウェアキャリブレーションおよび補正が必要とされ得る。図 3 6 は、前述の視覚フィードバックシステムを使用して、これらの偏差を補正する方法を示している。まず、視覚フィードバックシステムを使用して、屈折シフトシステムによるすべての可能なシフト位置でのすべての投影モジュールのすべてのピクセルの位置をマッピングする。ピクセルが過度にオーバーラップする場所では、グレースケール値を決定して、イメージング領域のすべての位置における光度を均等化する。このマッピングから、逆ピクセルシフト関数を計算するか、単に逆ルックアップテーブルとして実装することができる。次に、この逆関数を C A D データに適用して、イメージングパラメータを決定し、目的の物体を生成することができる。

【 0 0 6 3 】

この造形システムは、様々な粉末材料に汎用化することができる。特定の粉末材料の層への樹脂の浸入の程度を検出するビジョンシステムの能力は、当該粉末の光学特性によって幾分変化することがある。図 3 7 はこの現象を補正する方法を示す。視覚フィードバックシステムは、一般的に広い波長スペクトルを検知することができ、注入の指標として樹脂内で化学的応答を誘発しない 1 つまたは複数の波長を発生する 1 つまたは複数の照明源を提供することが有利であり得る。新しい粉末材料に対して、注入プロセス中に粉末を可能性のあるさまざまな指標波長にさらすことにより、最適な指標波長を決定することができる。注入中の反射率と吸光度の変化を測定することにより、信号対雑音比が最大になる最大の挙動変化を生じる波長を選択することができる。

【 0 0 6 4 】

前述の粉末堆積システムの多くは、高度に均一な粉末層を高い信頼性で生成できるが、いくつかの実装では、粉末層が均一性から外れることを許し、層をその生成時に測定し、補正のために画像データを調整することによって補正するのが有利であり得る。これは、ドクターブレード (1 1 8) または粉末層を平坦化する他の手段なしで粉末堆積を発生させることを可能にし、堆積速度を増加させることができる。図 3 8 は、これを実施する 1 つの方法を説明する。物体を造形する前に、物体を「ボクセル」とも呼ばれる 3 次元ピクセルに分割し、各ボクセルを部品の所望の境界 (上向き表面または下向き表面など) への近

接度について分析することができる。一般に、粉末堆積の偏差は、上向き表面または下向き表面の近くで発生しない限り、重要ではない。たとえば、層の一部に材料が多すぎる場合、この部分の公称高さが上向き表面の位置にある場合、過剰な材料は公称位置よりも高い表面を生成する。これを回避するために、実際の層のトポグラフィを評価し、偏差を補正する迅速な手段を使用することができる。

【 0 0 6 5 】

ボクセルは、上向き表面および下向きの表面への近接度について分析されるため、これらの表面のうちの1つの表面までの閾値距離内にあるボクセルには、このボクセルとこの表面との間の実際の距離に対応する値を割り当てることができる。一般に、ボクセルには、値なし、1つの値（1つの表面に近い場合）、または2つの値（2つの表面に近い場合、薄い水平形状の場合）を割り当てることができる。粉末の層が生成されると、各層をスキャンしてその形状を評価し、粉末の高さの公称高さからの偏差を測定することができる。層がイメージングされるとき、該層に含まれるボクセルに基づいてピクセルの配列が生成される。層偏差測定値は、造形中の層のボクセルの位置に対応するテーブルに配置することができる。層をイメージングする前に、粉末表面の測定された偏差が元のボクセルに対応する距離測定値を超える場合、層画像のピクセルを削除することができる。あるいは、ピクセル配列は、先に説明した部分層の製造方法で利用されるメタデータで修正してもよい。このように、粉末堆積プロセスの偏差は全体の製造精度に影響しない。結果として、このような層偏差の補正は、（例えば、CADモデルによって定義されるように）所望の構造からの偏差を最小限に抑えることができる。

10

20

【 0 0 6 6 】

デジタル造形を大量生産で使用するには、高いスループットが必要とされる。多くの状況では、これは生産性を最大にするために部品のパッチを印刷する必要がある。図 3 9 は、この一例を示している。部品の配列（2 3 2）は、プラットフォームベース（2 0 2）の上部の作業面（2 0 4）に印刷される。この図では、余分な未硬化樹脂と未結合粉末がほとんど除去されている。これは、スプレー装置と未硬化の樹脂を溶解できる溶剤を含むさまざまな洗浄システムのいずれかによって達成できる。支持材（2 3 0）は、粉末の堆積中に部品（2 3 2）に加えられるせん断力に耐えるように製造される。この支持材（2 3 0）は、粉末堆積の方法に応じて必要な場合とそうでない場合があるが、いずれにしても、部品（2 3 2）に接続する必要はない。この非接触支持材（2 3 0）は、部品（2 3 2）に近接することで部品（2 3 2）を固定するが、後処理中の部品の操作を妨げない。

30

【 0 0 6 7 】

部品のパッチの上部および周囲から過剰な材料を除去することは一般にたいしたことはないが、これらの部品を取り扱うには追加の自動化システムを必要とする。上記の部品（2 3 2）には、真空グリッパーまたは機械式グリッパーシステムによる操作を容易にする平坦表面があるが、すべての部品が自動操作を容易にする機能を備えているわけではない。図 4 0 は、標準的な真空グリッパーにより容易に取り扱うことができない平坦でない上面を有する部品のパッチ（2 3 4）を示している。代わりに、これらの部品の操作を容易にするためにこれらの部品に追加機能部を追加することができる。

40

【 0 0 6 8 】

図 4 1 A および 4 1 B は、操作機能部（2 3 6）を備えた部品（2 3 4）をより詳細に示す。これらの操作機能部は、図 4 2 に示すような真空グリッパー（2 5 2）で、またはピックアップブレースシステム（2 5 0）で駆動される他のグリッパーで係合することができる平坦な表面を提供する（2 3 6）。部品が金属またはセラミック粉末で構成される部品で、所望の最終製品が固体金属またはセラミック部品である部品の後処理の主要な操作には、余分な材料の除去、操作機能部の除去、および焼結用のトレイへの設置が含まれる。これらの操作は通常非常に労働集約的であるため、これらの操作の自動化には大きな価値がある。

【 0 0 6 9 】

操作機能部（2 3 6）は自動部品操作には有利であるが、焼結前に除去する必要がある

50

、除去しないと、除去のために二次加工プロセスが必要になり、生産プロセス全体の効率が低下する。図 4 3 は、操作機能部 (2 3 6) の簡単な除去を促進する 1 つの方法を示している。部品 (2 3 4) と操作機能部 (2 3 6) の境界に存在する粉末 (2 6 4) は、部品 (2 6 0) 上の材料に接線方向に固定されるとともに、操作機能部の材料 2 6 6 上の材料にも接線方向に固定されるように結合される。したがって、操作機能部 (2 3 6) は、自動化された操作を支援するために名目上部品 (2 3 4) に接続されているが、それらを接続する硬化ポリマーバインダーの連続領域はない。これにより、部品 (2 3 4) を損傷することなく、焼結前に操作機能部 (2 3 6) を切り離すことができる。

【 0 0 7 0 】

当該部品 (2 3 4) は複数のねじ穴 (2 3 8 、 2 4 0 、 2 4 2) を有し、それらは一般に部品 (2 3 4) を、材料が閉じ込められる可能性があり且つ追加の後処置前にその材料を除去しなければならない追加の空間を成形することが困難または不可能なものとする。前述の場合のように、ポリマーを含まない固体金属またはセラミック部品を形成するために、焼結の目的で金属またはセラミック粉末を造形プロセス中に結合させる場合には、焼結前に余分な材料を除去する必要がある、さもなければ余分な材料が部品 (2 3 4) に結合し、生産プロセス全体の精度を損なうことになる。図 4 4 A および 4 4 B は、囲まれた領域への入り口を特定するベクトルを示す。これらは、余分な材料を除去するためのノズルベースの洗浄システムの洗浄ベクトルとして利用することができる。一般的に、固体部品の閉じ込められた容積への入口の重心の法線ベクトルである洗浄ベクトルを特定し、それらの洗浄ベクトルを使用してノズル洗浄システムに対する部品の向きを決定し、その部品を一連の向きで洗浄システムにさらしてすべての余分な材料の完全な除去する方法は、前述のシステムを使用して製造される部品を処理するために使用することができる。

【 0 0 7 1 】

図 4 5 - 4 7 は、印刷部品の後処理の代替方法を示す。支持材 (2 7 0 、 2 7 2) は、二次洗浄処理中に部品 (2 3 4) は支持材 (2 7 0 、 2 7 2) 内に含まれるが部品 (2 3 4) から材料が流出できるように、部品 (2 3 4) と一緒に造形することができる。この場合、アセンブリ全体が溶媒洗浄プロセスにさらされている間、部品 (2 3 4) を支持材 (2 7 0 、 2 7 2) 内に保持することができ、場合により限られたスペースからの材料の流出を可能にするために音波または他の機械的攪拌をアセンブリの向きを変えながら与えることができる。これにより、以前の単一ユニット洗浄プロセスをより効率的な大規模製のバッチプロセスに変換することができる。

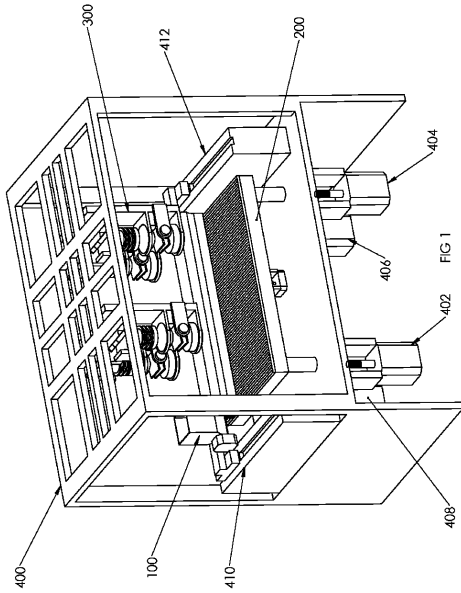
【 0 0 7 2 】

図 4 8 ~ 5 0 は、粉末分配機構の代替実施形態を示す。粉末堆積モジュール (5 0 0) は、ホッパー (5 0 2) 、ローラーアクチュエータ (5 0 4) 、ローラー (5 0 6) 、粉末剪断部材 (5 1 0) 、粉末剪断アクチュエータ (5 0 8) 、およびメッシュスクリーン (5 1 2) から構成される。前述のように、ここではローラー (5 0 6) を使用して堆積粉末の層を調整するが、ブレードまたは他の手段を実装することもできる。この堆積法では、通常、粉末は、前述のアーチング挙動を生成するために使用される粉末に対して適切なサイズの複数の穴からなるメッシュ (5 1 2) を通過することができない。この例では、振動を使用してアーチ状の粉末を攪拌するのではなく、せん断アクチュエータ (5 0 8) によって駆動されるせん断部材 (5 1 0) によってせん断力を加えてアーチを破壊し、粉末がスクリーン (5 1 2) を流れるようにする。この特定の実施形態では、2 つのローラー (5 0 6) を使用して、モジュール (5 0 0) が造形領域を順方向または逆方向のいずれかで横切るときに粉末が堆積されるようにすることができる。

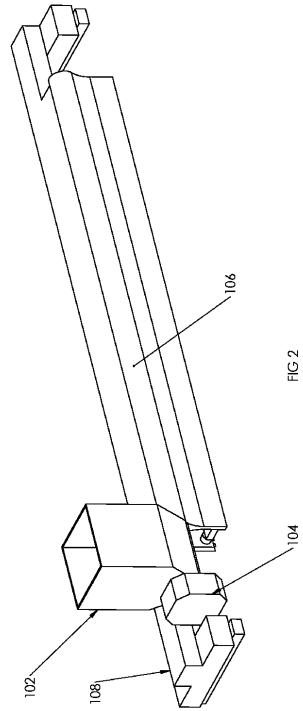
【 0 0 7 3 】

本主題は、その精神および本質的な特徴から逸脱することなく、他の形態で具体化することができる。したがって、記載の実施形態は、あらゆる点で例示的であり、限定的ではないと見なされるべきである。本主題を特定の好ましい実施形態に関して説明したが、当業者に明らかな他の実施形態も本主題の範囲に含まれる。

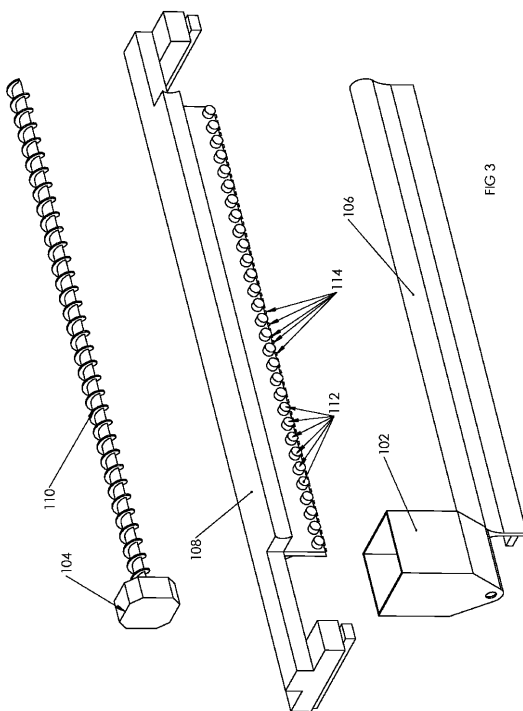
【図 1】



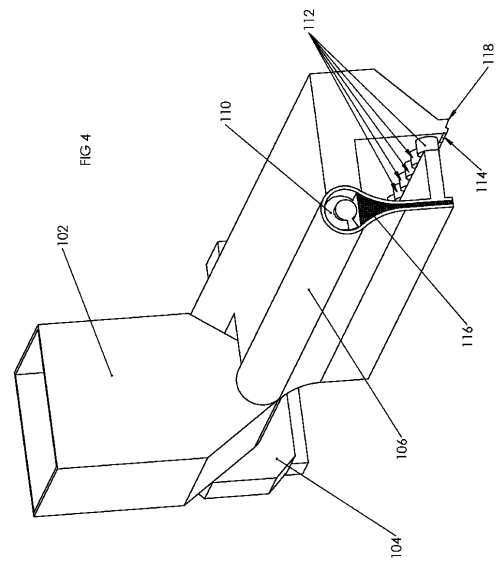
【図 2】



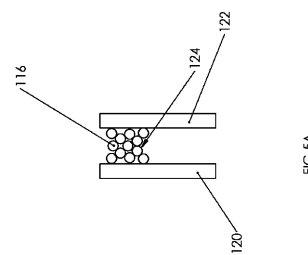
【図 3】



【図 4】



【図 5 A】



【図 5 B】

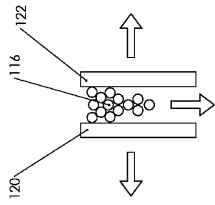


FIG 5B

【図 6】

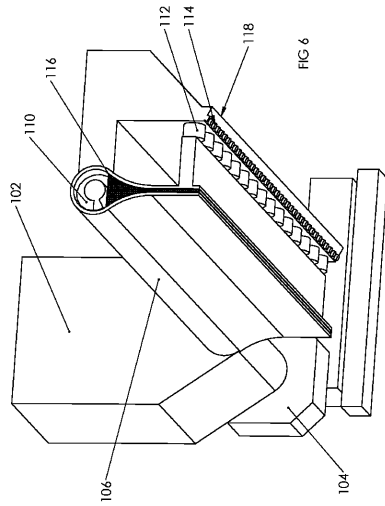


FIG 6

【図 8】

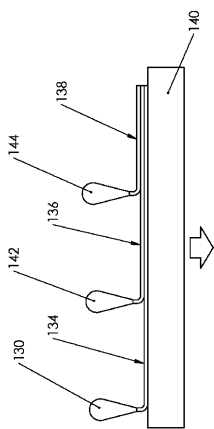


FIG 8

【図 7】

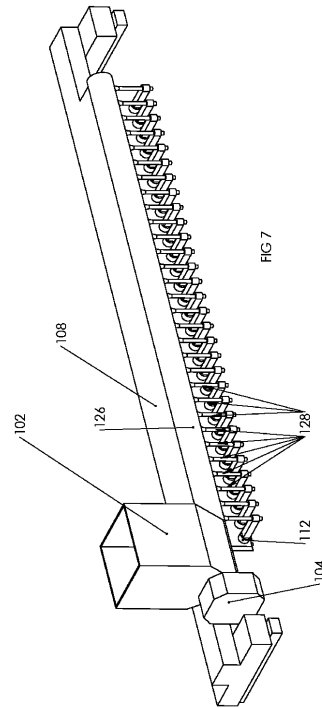


FIG 7

【図 9】

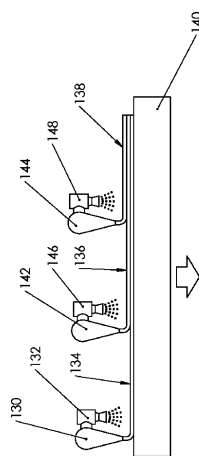


FIG 9

【図 10】

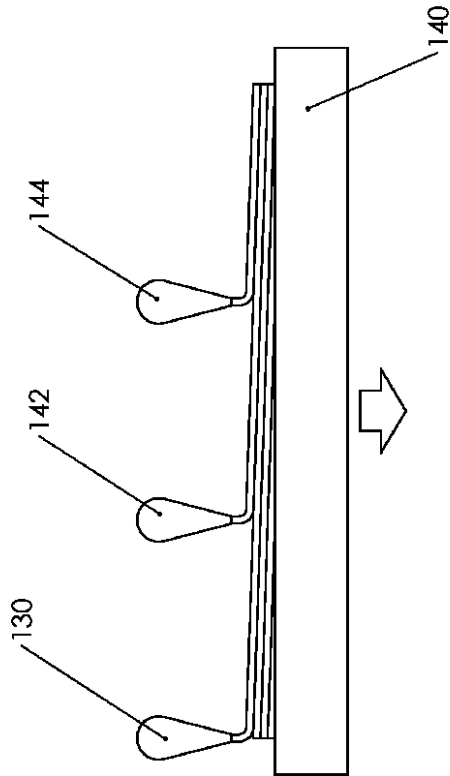


FIG 10

【図 11】

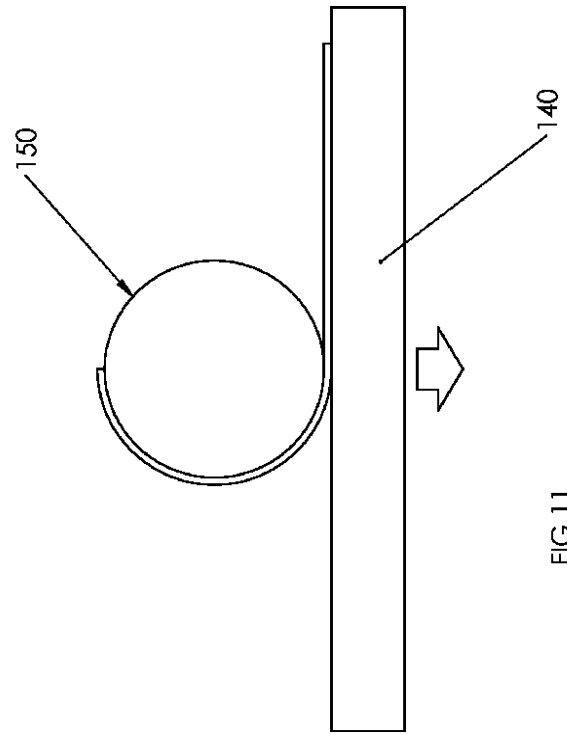


FIG 11

【図 12】

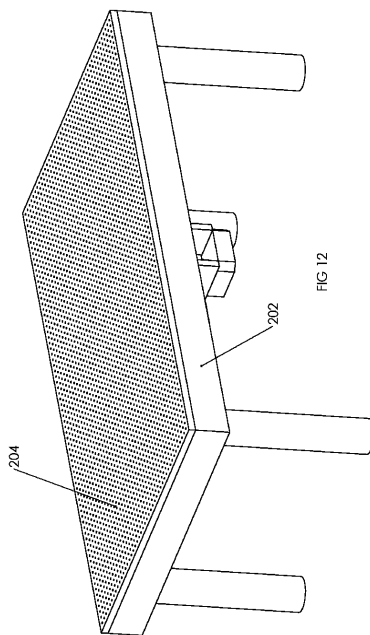


FIG 12

【図 13】

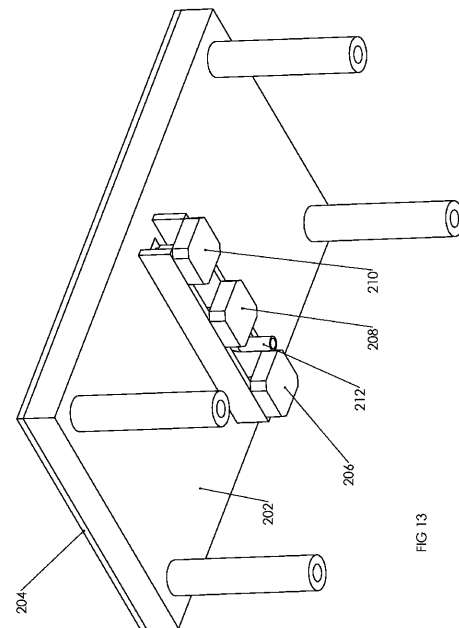


FIG 13

【図 14】

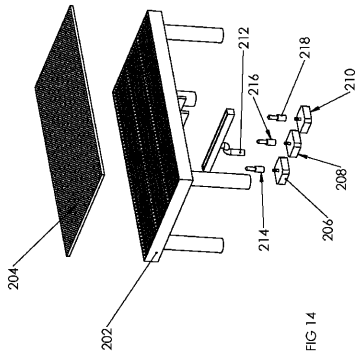


FIG 14

【図 15】

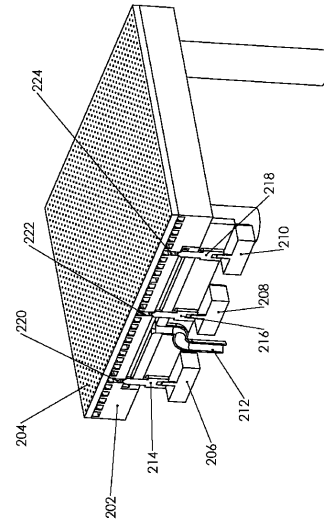


FIG 15

【図 16】

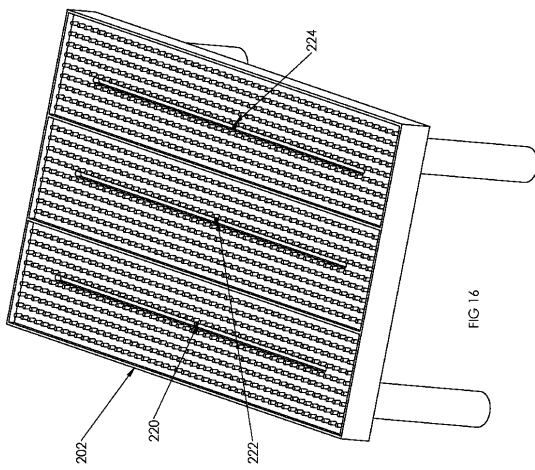


FIG 16

【図 17】

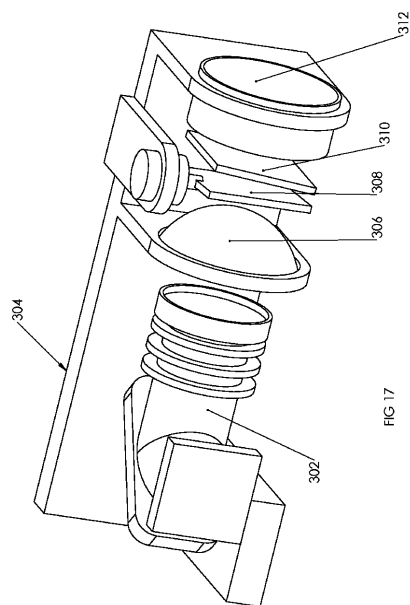
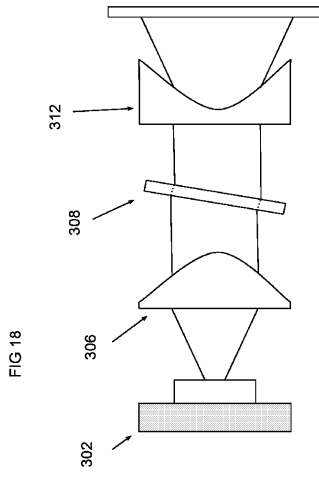
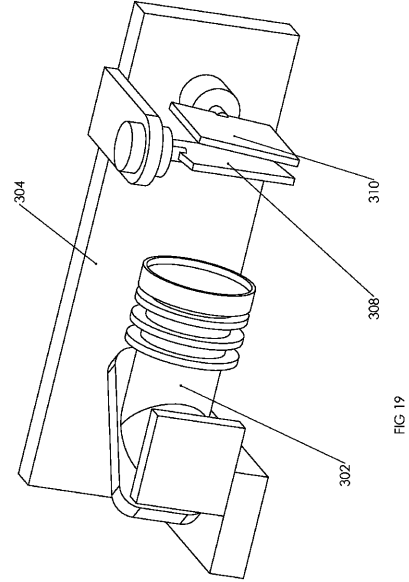


FIG 17

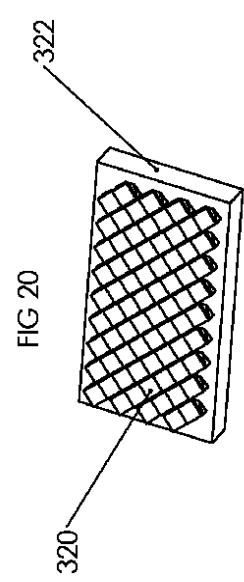
【図 18】



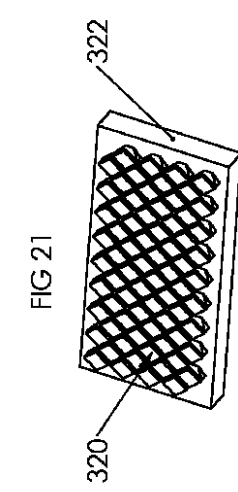
【図 19】



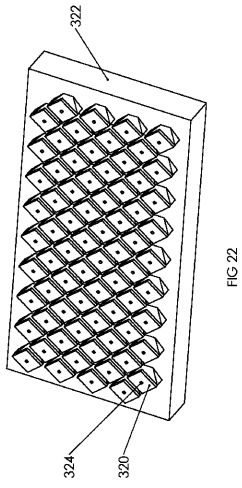
【図 20】



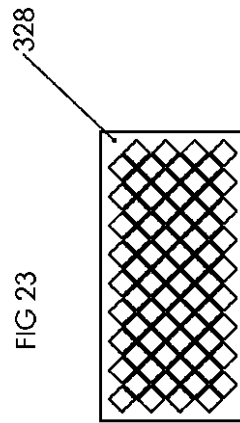
【図 21】



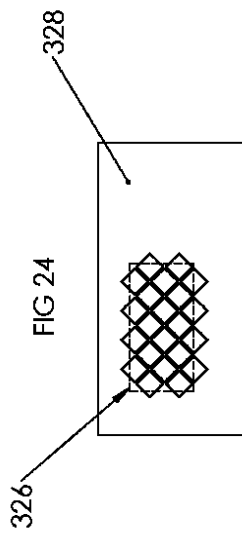
【図 2 2】



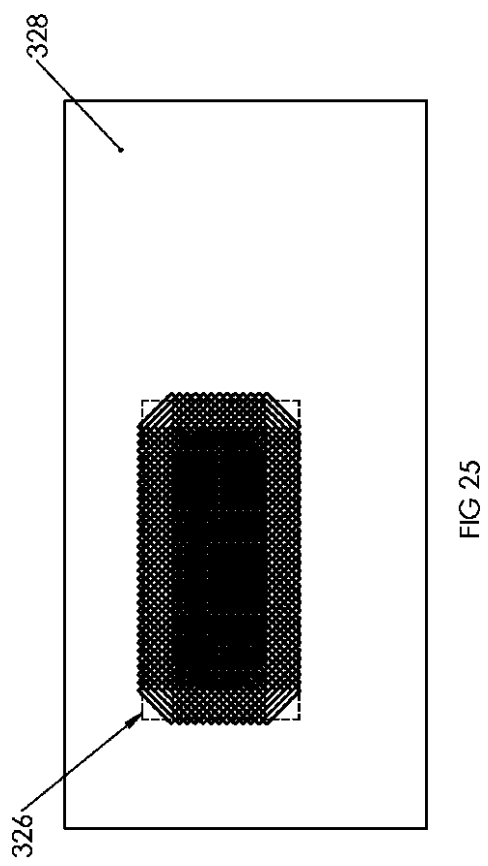
【図 2 3】



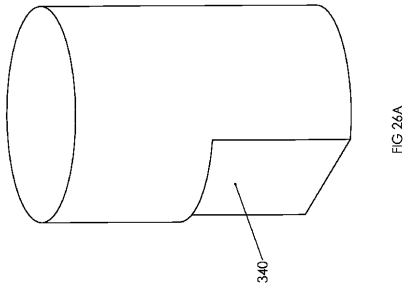
【図 2 4】



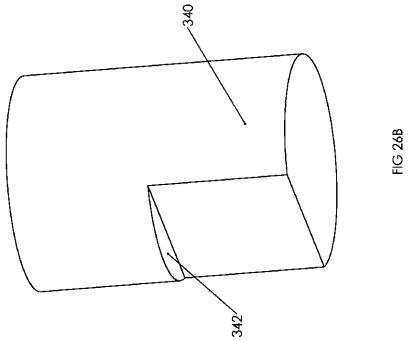
【図 2 5】



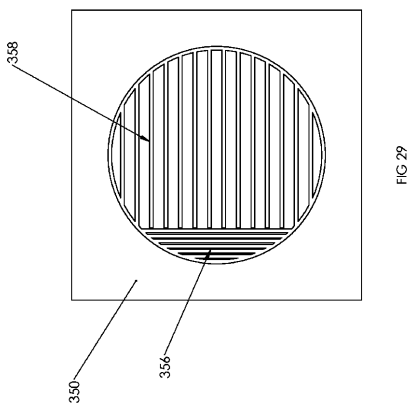
【図 26 A】



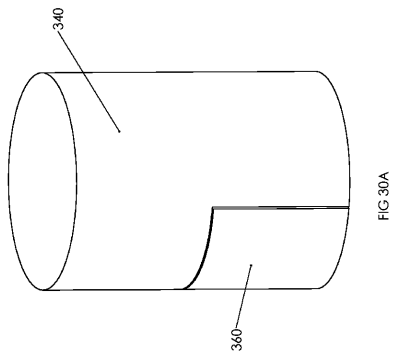
【図 26 B】



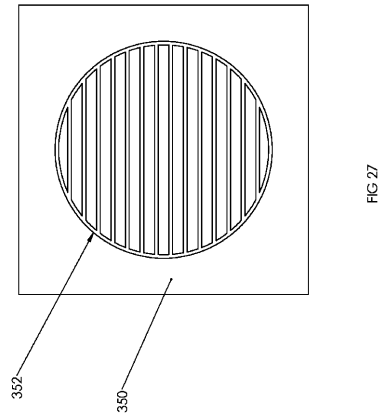
【図 29】



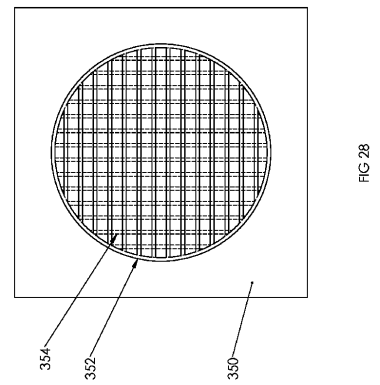
【図 30 A】



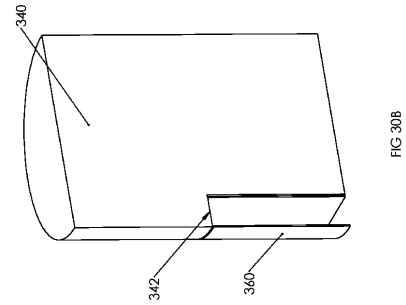
【図 27】



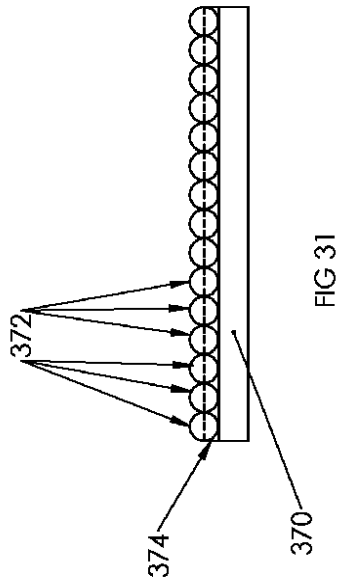
【図 28】



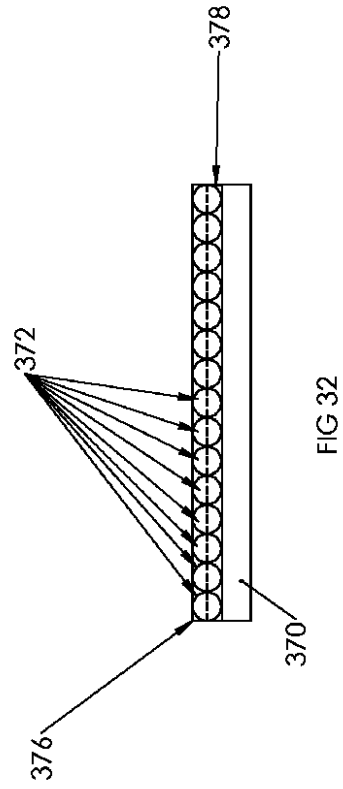
【図 30 B】



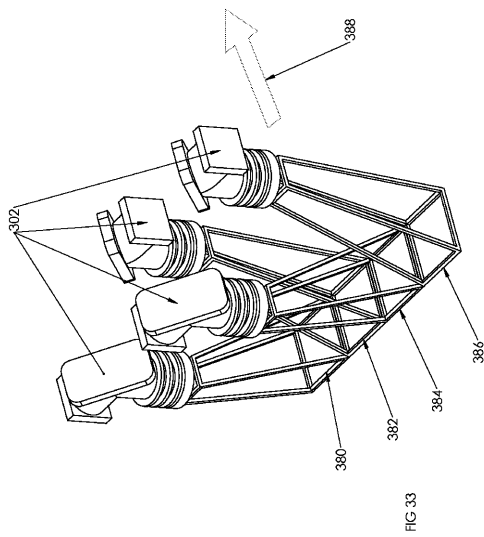
【図 3 1】



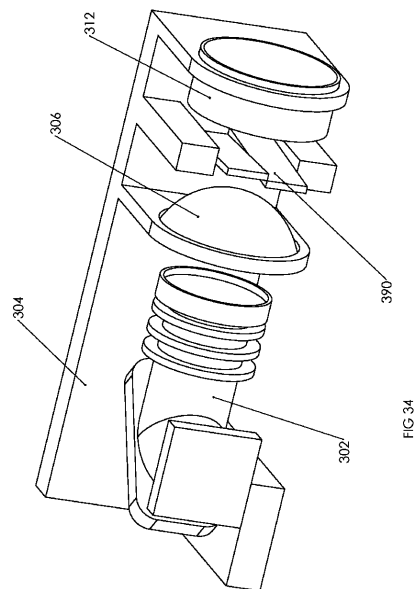
【図 3 2】



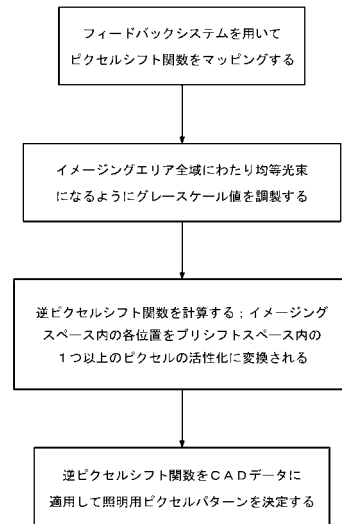
【図 3 3】



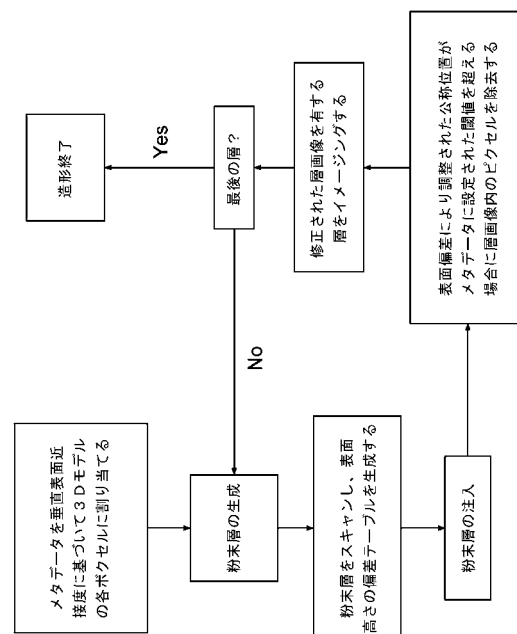
【図 3 4】



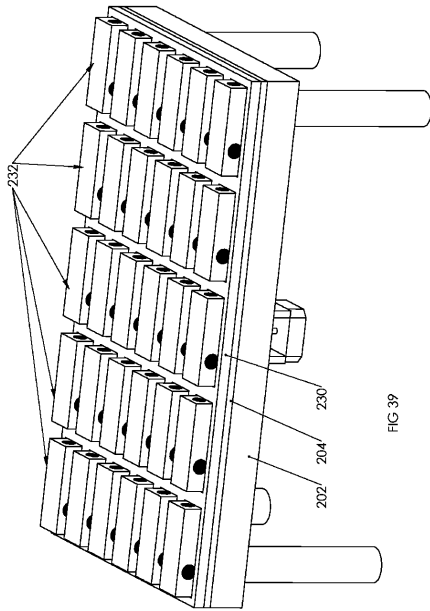
【 図 3 6 】



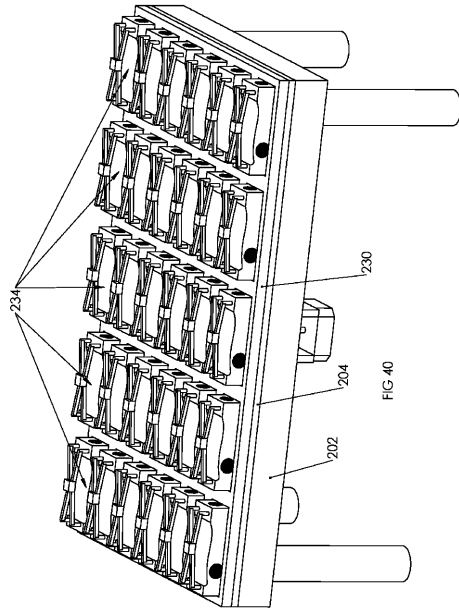
【 図 3 8 】



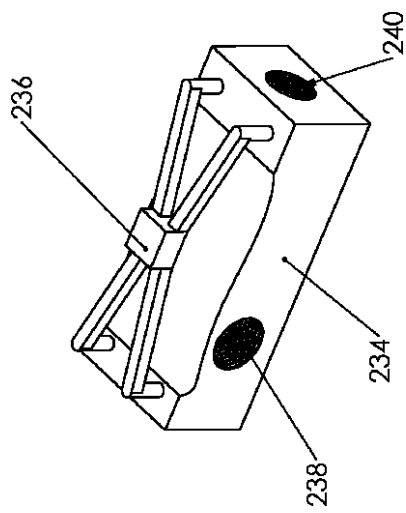
【図 39】



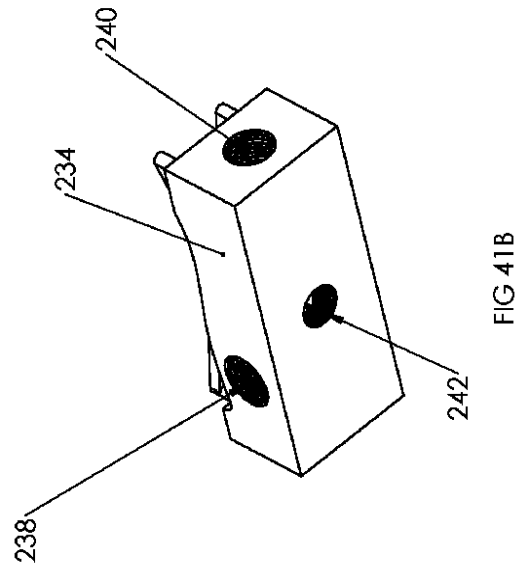
【図 40】



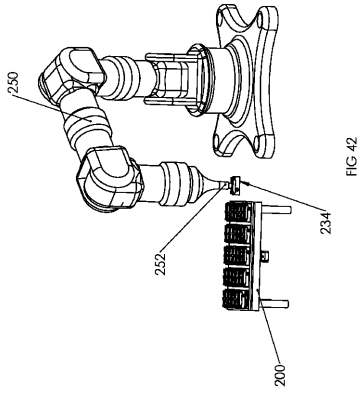
【図 41 A】



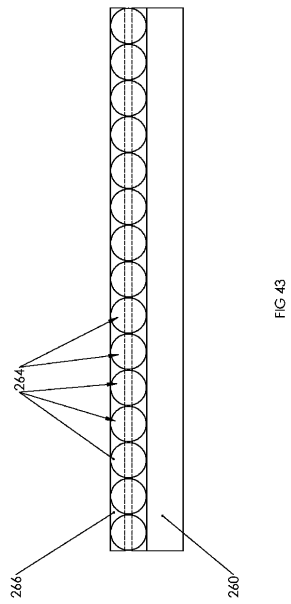
【図 41 B】



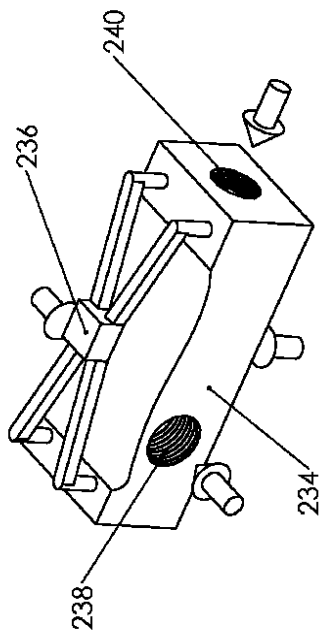
【 図 4 2 】



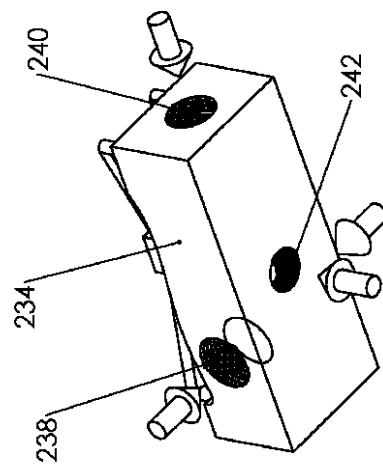
【 図 4 3 】



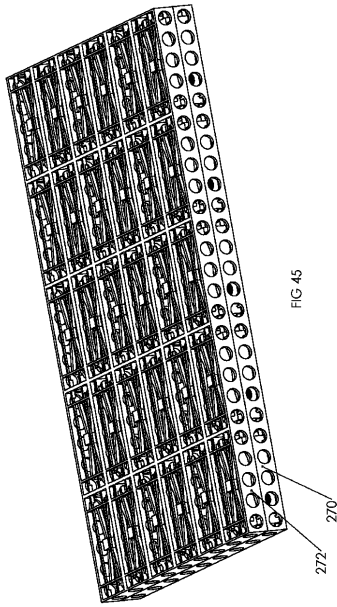
【 図 4 4 A 】



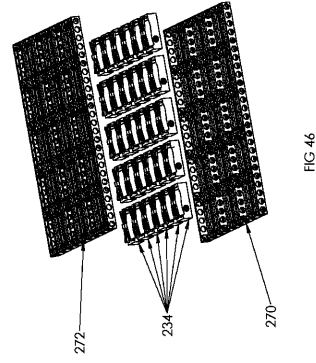
【 図 4 4 B 】



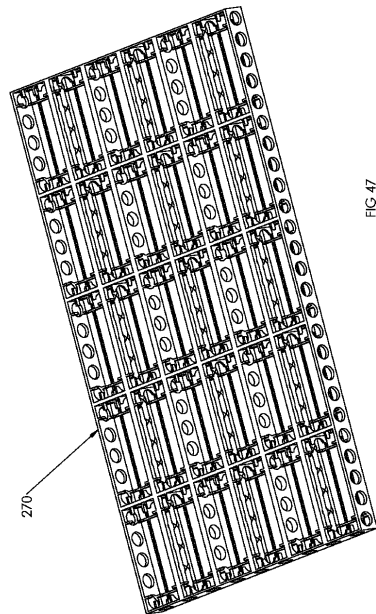
【図 4 5】



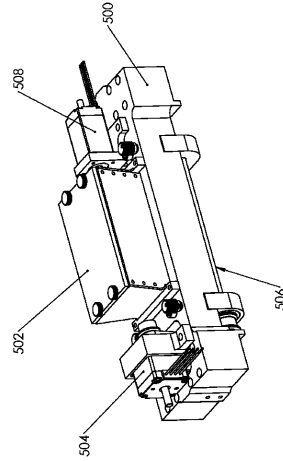
【図 4 6】



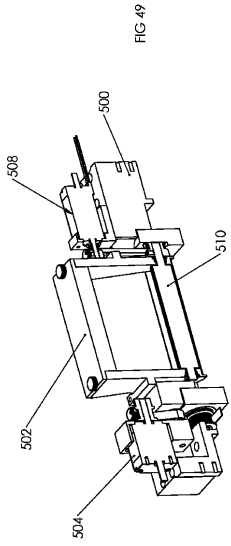
【図 4 7】



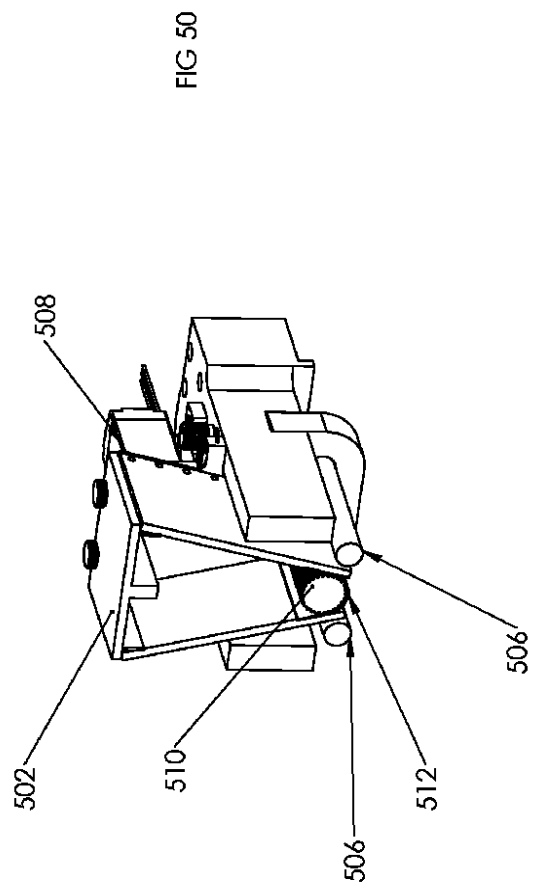
【図 4 8】



【図 49】



【図 50】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US18/44938

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Group I: Claims 1-16; Group II: Claims 17-32 & 41-48; Group III: 33-40

-***Continued within extra sheet-***

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:
1-16

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US18/44938

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC - G02B 7/182, 7/02, 7/18, 7/04; G03B 21/14; G09G 3/00; H04N 9/31 (2018.01)
CPC - G02B 7/1805, 7/1821, 27/2278, 7/102, 26/0833, 7/105; G03B 21/14, 21/62, 21/142, 21/208;
G09G 3/007; H04N 9/3102, 13/395

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)

See Search History document

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

See Search History document

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

See Search History document

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2016/164629 A1 (TRIO LABS, INC.) October 13, 2016; figures 4, 12, 19; paragraphs [0007], [0010], [0087]-[0089], [0091]-[0093], [0096], [0098]-[0100]	1, 4-9, 11-16
Y		2, 3, 10
Y	US 2007/0109502 A1 (WILLIS, D et al.) May 17, 2007; paragraphs [0024] & [0031]	2 & 10
Y	US 2006/0221092 A1 (NOGUCHI, Y et al.) October 5, 2006; paragraph [0044]	3
P, X	WO 2017/147434 A1 (TRIO LABS, INC.) August 31, 2017; entire document	1-16

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 September 2018 (18.09.2018)

Date of mailing of the international search report

09 NOV 2018

Name and mailing address of the ISA/

Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents

P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450

Facsimile No. 571-273-8300

Authorized officer

Shane Thomas

PCT Helpdesk: 571-272-4300
PCT OSP: 571-272-7774

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US18/44938

---Continued from Box No. III Observations where unity of invention is lacking---

This application contains the following inventions or groups of inventions which are not so linked as to form a single general inventive concept under PCT Rule 13.1. In order for all inventions to be examined, the appropriate additional examination fee must be paid.

Group I: Claims 1-16 are directed toward an apparatus and a method for producing a high-resolution image comprising a display unit and at least one refractive element.

Group II: Claims 17-32 & 41-48 are directed toward an apparatus and a method for fabricating a three-dimensional object comprising a powder transfer device, a powder hopper, a powder metering system, a photocurable material supply system, a visual feedback system, and a fractional layer of material.

Group III: Claims 33-40 are directed toward a method for powder composite fabrication comprising at least one resin material including at least a reactive monomer or oligomer, and a photoinitiator.

The inventions listed as Groups I-III do not relate to a single general inventive concept under PCT Rule 13.1 because, under PCT Rule 13.2, they lack the same or corresponding special technical features for the following reasons:

The special technical features of Group I include at least display unit and at least one refractive element, which are not present in Groups II & III.

The special technical features of Group II include at least a powder transfer device, a powder hopper, a powder metering system, a photocurable material supply system, a visual feedback system, and a fractional layer of material, which are not present in Groups I & III.

The special technical features of Group III include at least at least one resin material including at least a reactive monomer or oligomer, and a photoinitiator, which are not present in Groups I & II.

The common technical features shared by Groups I-III are an apparatus and a method for fabricating a three-dimensional object comprising: delivering a powder material to a build platform; one photocurable material; an imaging device, and a powder composite component.

However, these common features are previously disclosed by US 2002/0195747 A1 to HULL, C et al. (hereinafter 'HULL'). HULL discloses an apparatus and a method for fabricating a three-dimensional object (an apparatus and a method for fabricating a three-dimensional object; figures 2-7; paragraphs [0042] & [0055]; abstract) comprising: delivering a powder material to a build platform (as shown in figures 2-7, delivering a build material 12 to a build platform 24, wherein the build material 12 includes powder/particulate matter; figures 2-7; paragraphs [0037] & [0042]); one photocurable material (a photopolymerizable resin; paragraph [0047]); an imaging device (a laser/radiation source 36 and scanning mirror system 38 which images to solidify layers; figure 6; paragraphs [0035] & [0054]); and a powder composite component (and a solidified build material/powder layer; figure 6; paragraph [0047]).

Since the common technical features are previously disclosed by the HULL reference, these common features are not special and so Groups I-III lack unity.

フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I		テーマコード (参考)	
B 3 3 Y	10/00	(2015.01)	B 3 3 Y	10/00
B 2 2 F	1/02	(2006.01)	B 2 2 F	1/02
B 2 2 F	3/16	(2006.01)	B 2 2 F	1/02
B 2 2 F	3/105	(2006.01)	B 2 2 F	3/16
G 0 2 B	26/08	(2006.01)	B 2 2 F	3/105
B 2 9 C	64/393	(2017.01)	G 0 2 B	26/08
B 3 3 Y	50/02	(2015.01)	B 2 9 C	64/393
			B 3 3 Y	50/02

(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

(72)発明者 アダム ティー シー ステイージ

アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 2 7 7 1 3 ダラム スリーピー クリーク ドライブ
7 1 8

F ターム(参考) 2H141 MA12 MA15 MB24 MB39 MD12 MD20 MD23 ME01 ME04 MG04
4F213 WA25 WB01 WL03 WL22 WL32 WL43 WL45 WL74 WL76 WL82
4K018 BC28 BC30 CA44 EA51 EA60