

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7146757号
(P7146757)

(45)発行日 令和4年10月4日(2022.10.4)

(24)登録日 令和4年9月26日(2022.9.26)

(51)国際特許分類	F I
B 2 2 F 10/16 (2021.01)	B 2 2 F 10/16
B 2 2 F 10/43 (2021.01)	B 2 2 F 10/43
B 2 2 F 10/47 (2021.01)	B 2 2 F 10/47
B 3 3 Y 10/00 (2015.01)	B 3 3 Y 10/00
B 3 3 Y 70/10 (2020.01)	B 3 3 Y 70/10

請求項の数 23 (全28頁)

(21)出願番号	特願2019-529649(P2019-529649)
(86)(22)出願日	平成29年10月2日(2017.10.2)
(65)公表番号	特表2020-501022(P2020-501022)
A)	
(43)公表日	令和2年1月16日(2020.1.16)
(86)国際出願番号	PCT/US2017/054743
(87)国際公開番号	WO2018/102021
(87)国際公開日	平成30年6月7日(2018.6.7)
審査請求日	令和2年10月1日(2020.10.1)
(31)優先権主張番号	62/505,081
(32)優先日	平成29年5月11日(2017.5.11)
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)
(31)優先権主張番号	62/489,410
(32)優先日	平成29年4月24日(2017.4.24)
	最終頁に続く

(73)特許権者	515339723 マークフォージド, インコーポレーテッド アメリカ合衆国 02472 マサチューセッツ州, ウォータータウン, スクールストリート 85
(74)代理人	110002572 特許業務法人平木国際特許事務所
(72)発明者	マーク, グレゴリー, トーマス アメリカ合衆国 02472 マサチューセッツ州, ウォータータウン, スクールストリート 85, マークフォージド, インコーポレーテッド
審査官	向井 佑

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 焼結付加製造パーツ用サポート

(57)【特許請求の範囲】**【請求項1】**

3次元構造を付加的に製造する方法であって、
 パーツ及び収縮プラットフォームを形成し、前記パーツ及び前記収縮プラットフォームの各々が、金属粒子及び1以上のバインダ成分を含んでいるステップと、
 前記パーツと前記収縮プラットフォームとの間に剥離層を形成し、前記剥離層が、前記パーツ及び前記収縮プラットフォームが焼結されると焼結又は溶融しない粉末状材料を含んでいるステップと、を含み、
 焼結中に、前記パーツ及び前記収縮プラットフォームは、均一に焼結するように構成されている方法。

【請求項2】

請求項1に記載の方法であって、
 前記パーツ及び前記収縮プラットフォームを形成するステップは、前記パーツと前記収縮プラットフォームとの間で前記剥離層を貫通するタックを形成することを含んでいる方法。

【請求項3】

請求項1に記載の方法であって、
 前記パーツ及び前記収縮プラットフォームの各々は、焼結されると同一の速度で収縮するように構成されている方法。

【請求項4】

請求項 1 に記載の方法であって、さらに、
焼結又は溶融しない粉末状材料を含んでいるスライド剥離層を、前記収縮プラットフォームの表面と前記表面に対向するビルドプレートとの間に形成するステップを含む方法。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の方法であって、

前記スライド剥離層を形成するステップは、前記収縮プラットフォームと前記ビルドプレートとの間で前記スライド剥離層を貫通するタックを形成することを含んでいる方法。

【請求項 6】

3 次元構造を付加的に製造する方法であって、

パーツ及び収縮プラットフォームを焼結し、前記パーツ及び前記収縮プラットフォームの各々が、金属粒子及び 1 以上のバインダ成分を含んでおり、前記パーツと前記収縮プラットフォームとの間で少なくとも一部が剥離層を有し、前記剥離層が、前記パーツ及び前記収縮プラットフォームが焼結されると焼結又は溶融しない粉末状材料を含んでいるステップを含み、

前記焼結中に、前記パーツ及び前記収縮プラットフォームは、互いに相対的な位置に保持され、均一に焼結するように構成されている方法。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の方法であって、

前記パーツ及び前記収縮プラットフォームの各々は、前記焼結中に同一の速度で収縮するように構成されている方法。

10

【請求項 8】

3 次元構造を付加的に製造する方法であって、

パーツ、サポート構造及び収縮プラットフォームを形成し、前記パーツ、前記サポート構造及び前記収縮プラットフォームの各々が、金属粒子及び 1 以上のバインダ成分を含んでいるステップと、

前記サポート構造と前記収縮プラットフォームとの間に剥離層を形成し、前記剥離層が、前記パーツ、前記サポート構造及び前記収縮プラットフォームが焼結されると焼結又は溶融しない粉末状材料を含んでいるステップと、を含み、

焼結中に、前記パーツ及び前記サポート構造は、互いに相対的な位置に、かつ合わせて保持され、前記収縮プラットフォームに対して相対的な位置で均一に焼結するように構成されている方法。

20

【請求項 9】

請求項 8 に記載の方法であって、

前記パーツ、前記サポート構造及び前記収縮プラットフォームを形成するステップは、前記サポート構造と前記収縮プラットフォームとの間で前記剥離層を貫通するタックを形成することを含んでいる方法。

30

【請求項 10】

請求項 8 に記載の方法であって、

前記パーツ、前記サポート構造及び前記収縮プラットフォームの各々は、焼結されると同一の速度で収縮するように構成されている方法。

40

【請求項 11】

請求項 8 に記載の方法であって、さらに、

焼結されると焼結又は溶融しない粉末状材料を含んでいるスライド剥離層を、前記収縮プラットフォームの表面と前記表面に対向するビルドプレートとの間に形成するステップを含む方法。

【請求項 12】

請求項 11 に記載の方法であって、

前記スライド剥離層を形成するステップは、前記収縮プラットフォームと前記ビルドプレートとの間で前記スライド剥離層を貫通するタックを形成することを含んでいる方法。

【請求項 13】

50

3次元構造を付加的に製造する方法であって、
パーツ、サポート構造及び収縮プラットフォームを焼結し、前記パーツ、前記サポート構造及び前記収縮プラットフォームの各々が、金属粒子及び1以上のバインダ成分を含んでおり、前記サポート構造と前記収縮プラットフォームとの間で少なくとも一部が、前記パーツ、前記サポート構造及び前記収縮プラットフォームが焼結されると焼結又は溶融しない粉末状材料を含んでいる剥離層を有しているステップを含み、

前記焼結中に、前記パーツ、前記サポート構造及び前記収縮プラットフォームは、互いに相対的な位置に保持され、均一に焼結するように構成されている方法。

【請求項14】

請求項13に記載の方法であって、

前記パーツ、前記サポート構造及び前記収縮プラットフォームの各々は、前記焼結中に同一の速度で収縮するように構成されている方法。

【請求項15】

3次元構造を付加的に製造する方法であって、

モデル材の第1ボディ及び収縮プラットフォームとして構成されているモデル材の第2ボディを焼結し、前記モデル材の第1ボディ及び前記モデル材の第2ボディの各々が、金属粒子及び1以上のバインダ成分を含んでおり、前記モデル材の第1ボディと前記モデル材の第2ボディとの間で少なくとも一部が剥離層であり、前記剥離層が、前記モデル材の第1ボディ及び前記モデル材の第2ボディが焼結されると焼結又は溶融しない粉末状材料を含んでいるステップを含み、

前記モデル材の第1ボディ及び前記モデル材の第2ボディの焼結中に、前記モデル材の第1ボディ及び前記モデル材の第2ボディは、互いに相対的な位置に保持され、均一に焼結するように構成されている方法。

【請求項16】

請求項15に記載の方法であって、

前記第1ボディは1以上のパーツを含んでいる方法。

【請求項17】

請求項16に記載の方法であって、さらに、

前記モデル材の第1ボディの層間に剥離層を形成するステップを含む方法。

【請求項18】

請求項17に記載の方法であって、

前記モデル材の第1ボディの層間に前記剥離層を形成するステップは、前記モデル材の第1ボディの前記層間で前記剥離層を貫通するタックを形成することを含んでいる方法。

【請求項19】

請求項15に記載の方法であって、

前記相対的な位置は共通質量中心である方法。

【請求項20】

請求項15に記載の方法であって、

前記剥離層はセラミックを含んでいる方法。

【請求項21】

請求項15に記載の方法であって、

前記第1ボディは1以上のサポート構造を含んでいる方法。

【請求項22】

請求項21に記載の方法であって、さらに、

前記モデル材の第1ボディの層間に剥離層を形成するステップを含む方法。

【請求項23】

請求項22に記載の方法であって、

前記モデル材の第1ボディの層間に前記剥離層を形成するステップは、前記モデル材の第1ボディの前記層間で前記剥離層を貫通するタックを形成することを含んでいる方法。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

【技術分野】**【0001】****関連出願の相互参照**

本出願は、2016年12月2日に出願された「焼結付加製造パーツ用サポート」と題する米国仮特許出願第62/429,711号；2016年12月6日に出願された「焼結付加製造パーツ用ウォームスプール供給」と題する米国仮特許出願第62/430,902号；2017年1月4日に出願された「焼結準備済みパーツの付加層の一体堆積及びデバインド」と題する米国仮特許出願第62/442,395号；2017年3月31日に出願された「流動層における焼結付加製造パーツ」と題する米国仮特許出願第62/480,331号；2017年4月24日に出願された「マイクロ波加熱炉における焼結付加製造パーツ」と題する米国仮特許出願第62/489,410号；2017年5月11日に出願された「内部流路を介した急速デバインド」と題する米国仮特許出願第62/505,081号；及び2017年6月13日に出願された「焼結可能3D印刷パーツにおけるバインダ内応力の補償」と題する米国仮特許出願第62/519,138号に対して米国特許法第119条(e)に基づいて利益を主張するものであり、それらの開示は参照によりその全体が本明細書に組み込まれている。

10

【0002】

態様は、複合金属又はセラミック材料の3次元印刷に関連する。

【背景技術】**【0003】**

20

技術としての「3次元印刷」には、金属パーツを製作する様々な方法が含まれる。

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

3D印刷では、概して、パーツのオーバーハング又はカンチレバー部はもちろん、支持されていないスパン部も、堆積のための対向面を提供するため又は後処理中の変形に抵抗するために、下部に除去可能及び／又は可溶性及び／又は分散するサポートが必要となることがある。

【課題を解決するための手段】**【0005】**

30

本発明の実施形態の第1態様によれば、付加的に製造されたパーツにおける歪みを減少させる方法は、デバインド可能な母材に金属微粒子充填材を含んでいる複合物の連続層の収縮プラットフォームを形成することを含んでおり、前記デバインド可能な母材は、1又は2段バインダとなるように異なる成分を含んでいてもよい。収縮サポートは、前記収縮プラットフォーム上に前記同一複合物から形成される。前記同一複合物の所望のパーツは、前記収縮プラットフォーム及び収縮サポート上に形成され、前記所望のパーツの実質的に水平な部分（例えば、オーバーハング、ブリッジ、大半径アーチ）は、前記収縮プラットフォームにより垂直にサポートされる（例えば、直接、前記収縮サポートを介して又は剥離層を介して）。前記収縮プラットフォームと下層面（例えば、ビルドプラットフォーム又は焼結用トレイ等）との間の横抵抗を減少させ、前記収縮プラットフォーム（例えば、図4に示すように）の底と等しい又は前記収縮プラットフォームの底より大きい表面積のスライド剥離層を、前記収縮プラットフォームの下に形成する。前記収縮プラットフォーム、収縮サポート及び所望のパーツを含んでいる形状保持ブラウンパーツアセンブリ（shape-retaining brown part assembly）（例えば、残存するバインダのまばらな格子を含んでおり、前記形状を保持する）を形成するために十分な前記母材がデバインドされる。前記形状保持ブラウンパーツアセンブリの全体にわたって隣接する金属粒子が質量拡散を行っている間に、同一の速度で前記収縮プラットフォーム、前記収縮サポート及び前記所望のパーツの全てを一緒に収縮させるために前記複合物から形成される前記形状保持ブラウンパーツアセンブリは加熱される。その結果、均一収縮と前記スライド剥離層により歪みを減少させる。

40

50

【 0 0 0 6 】

同様の利点を有する装置は、前記収縮プラットフォーム、前記収縮サポート及び前記所望のパーツを堆積させる印刷ヘッドと、前記スライド剥離層を形成する第2プリントヘッドと、前記形状保持ブラウンパーツアセンブリをデバインドするデバインド洗浄と、前記収縮プラットフォーム、前記収縮サポート及び前記所望のパーツを同一の速度で一緒に加熱及び収縮させるための焼結オープンとを含んでいてもよい。

【 0 0 0 7 】

任意に、セルチャンバ間の相互接続を含んでいるオープンセル構造 (open cell structure) は、前記収縮プラットフォーム、前記収縮サポート及び前記所望のパーツの少なくとも1つにおいて堆積され、流体デバインダは、前記オープンセル構造に浸透し、前記オープンセル構造内から前記母材をデバインドする。さらに又は代わりに、前記収縮プラットフォーム、収縮サポート及び所望のパーツは、前記結び付けられた収縮プラットフォーム及び接続された収縮サポートの質量中心と前記パーツの前記質量中心とを実質的に揃えるように形成されてもよい。さらに追加で又は前記代替手段において、前記収縮サポートは、前記収縮サポートと前記所望のパーツの側面との間に前記同一複合物の分離可能な取り付け突起を形成することにより前記所望のパーツの前記側面と相互接続されてもよい。

なおさらに追加で又は前記代替手段において、横サポートシェル (lateral support shell) が、前記所望のパーツの横輪郭に統一して前記同一複合物から形成されてもよく、前記横サポートシェルは、前記横サポートシェルと前記所望のパーツとの間に前記同一複合物の分離可能な取り付け突起を形成することにより前記所望のパーツの前記横輪郭に接続されてもよい。

10

【 0 0 0 8 】

さらに任意に、前記所望のパーツの前記形成中に下向きの力に抵抗する前記デバインド可能な母材の可溶性サポート構造 (soluble support structures) が、前記金属微粒子充填材なしで形成されてもよく、前記形状保持ブラウンパーツアセンブリを加熱する前に前記可溶性サポート構造を溶解するために十分な前記母材がデバインドされる。代わりに又は加えて、セラミック微粒子充填材及び前記デバインド可能な母材を含んでいる剥離複合物の可溶性サポート構造が形成されてもよく、前記可溶性サポート構造は、前記所望のパーツの前記形成中に下向きの力に抵抗する。前記形状保持ブラウンパーツアセンブリを加熱する前に、前記収縮プラットフォーム、収縮サポート及び所望のパーツを含んでいる形状保持ブラウンパーツアセンブリを形成し、前記可溶性サポート構造の前記母材を溶解するために十分な前記母材がデバインドされてもよい。

20

【 0 0 0 9 】

さらに又は前記代替手段において、前記下層面は、ポータブルビルトプレート (portable build plate) を含んでいてもよい。この場合、前記収縮プラットフォームは、前記ポータブルビルトプレート上に形成されてもよく、前記スライド剥離層は、セラミック微粒子及び前記デバインド可能な母材を含んでいる剥離複合物により前記収縮プラットフォームの下で、前記ポータブルビルトプレートの上に形成される。前記形状保持ブラウンパーツアセンブリは、前記加熱中に焼結されてもよい。前記ビルトプレート、スライド剥離層、及び形状保持ブラウンパーツアセンブリは、前記デバインド中及び前記焼結中にユニットとして一緒に保持されてもよい。焼結後、前記ビルトプレート、スライド剥離層、収縮プラットフォーム及び収縮サポートは、前記所望のパーツから分離されてもよい。

30

【 0 0 1 0 】

任意に、パーツ剥離層が、セラミック微粒子充填材及び前記デバインド可能な母材を含んでいる剥離複合物により前記収縮サポートと前記所望のパーツとの間に形成されてもよく、前記形状保持ブラウンパーツアセンブリは、前記加熱中に焼結される。前記パーツ剥離層及び形状保持ブラウンパーツアセンブリは、前記デバインド中及び前記焼結中にユニットとして一緒に保持されてもよい。焼結後、前記パーツ剥離層、収縮プラットフォーム及び収縮サポートを分離することは、前記所望のパーツから分離されてもよい。この場合、前記収縮サポートにおけるセルチャンバ間に相互接続を含んでいるオープンセル構造が

40

50

堆積されてもよく、流体デバインダは、前記オープンセル構造に浸透し、前記オープンセル構造内から前記母材をデバインドしてもよい。

【0011】

本発明の実施形態の他の態様によれば、付加的に製造されたパーツにおける歪みを減少させる方法は、デバインド可能な母材に金属微粒子充填材を含んでいる複合物から形成された収縮プラットフォームを連続層で堆積させることと、前記同一複合物の収縮サポートを前記収縮プラットフォーム上に堆積させることとを含んでいる。相互接続を含んでいるオープンセル構造は、前記収縮サポートにおけるセルチャンバ間に堆積される。前記同一複合物から、所望のパーツが、前記収縮プラットフォーム及び収縮サポート上に堆積される。前記収縮プラットフォーム、収縮サポート及び所望のパーツは、流体デバインダに曝され、形状保持ブラウンパーツアセンブリを形成する。前記流体デバインダは、前記オープンセル構造に浸透し、前記オープンセル構造内から前記母材をデバインドする。前記形状保持ブラウンパーツアセンブリは、焼結され、前記形状保持ブラウンパーツアセンブリの全体にわたって共通の速度で収縮する。

10

【0012】

任意に、前記収縮プラットフォームと下層面との間の横抵抗を減少させ、前記収縮プラットフォームの底と等しい又は前記収縮プラットフォームの底より大きい表面積のスライド剥離層が、前記収縮プラットフォームの下に堆積される。さらに又は前記代替手段において、パーツ剥離層が、セラミック微粒子充填材及び前記デバインド可能な母材を含んでいる剥離複合物により前記収縮サポートと前記所望のパーツとの間に堆積され、前記パーツ剥離層及び形状保持ブラウンパーツアセンブリは、前記曝されている間及び前記焼結中にユニットとして一緒に保持される。焼結後、前記パーツ剥離層、収縮プラットフォーム及び収縮サポートは、前記所望のパーツから分離される。さらに任意に、例えば、図8乃至図10に示すように、剥離複合物を有しない垂直ギャップが、収縮サポートの垂直面が前記所望のパーツの隣接壁に対向する収縮サポートと前記所望のパーツとの間に形成される。

20

【0013】

代わりに又は加えて、例えば、図8乃至図10に示すように、横サポートシェルブロックが、大きなセル内部を有し、前記横サポートシェルブロック内の最も厚い壁より幅が広いセルキャビティを有するセルを有して堆積され、デバインド流体の前記サポート内への拡散及び浸透を支援する。さらに代わりに又は加えて、前記収縮サポートは、前記収縮サポートと前記所望のパーツの側面との間に前記同一複合物の分離可能な取り付け突起を形成することによって前記所望のパーツの前記側面と相互接続されてもよい。

30

【0014】

さらに任意に、例えば、図8乃至図10に示すように、前記収縮サポートとしての前記同一複合物の横サポートシェルが堆積され、前記所望のパーツの横輪郭をたどってもよい。この場合、前記横サポートシェルは、前記横サポートシェルと前記所望のパーツとの間に前記同一複合物の分離可能な取り付け突起を形成することにより前記所望のパーツの前記横輪郭に接続されてもよい。代わりに又は加えて、前記収縮プラットフォーム、前記横サポートシェル及び前記所望のパーツの少なくとも1つは、内部チャンバ間の相互接続を有して堆積されてもよく、流体デバインダが、前記相互接続を介して前記内部チャンバ内に浸透し、前記オープンセル構造内から前記母材をデバインドしてもよい。前記収縮プラットフォーム、収縮サポート、及び所望のパーツは、前記結び付けられた収縮プラットフォーム及び接続された収縮サポートの質量中心と前記パーツの前記質量中心とを実質的に揃えるように堆積されてもよい。

40

【0015】

本発明の実施形態の他の態様によれば、付加的に製造されたパーツにおける歪みを減少させる方法は、デバインド可能な母材に金属微粒子充填材を含んでいる複合物から形成された収縮プラットフォームを連続層で堆積させることを含んでいる。前記同一複合物の収縮サポートが、前記収縮プラットフォーム上に堆積されてもよい。例えば、図8乃至図1

50

0に示すように、前記収縮サポート間に、前記収縮サポートを分離クリアランスに沿って分離可能な断片に分割する前記分離クリアランスとしてのパーティングラインが形成されてもよい。前記同一複合物から、所望のパーツが、前記収縮プラットフォーム及び収縮サポート上に成形されてもよい。前記収縮プラットフォーム、収縮サポート柱及び所望のパーツを含んでいる形状保持ブラウンパーツアセンブリを形成するために十分な前記母材がデバインドされてもよい。前記形状保持ブラウンパーツアセンブリは、焼結され、前記形状保持ブラウンパーツアセンブリの全体にわたって均一な速度で収縮してもよい。前記収縮サポートは、前記分離クリアランスに沿って断片に分割されてもよく、前記断片は、前記所望のパーツから分離されてもよい。

【0016】

10

任意に、1以上の分離クリアランスは、隣接するサポート柱を分離させ、実質的に前記隣接するサポート柱の高さに対して延びている垂直クリアランスとして形成されており、さらに、前記隣接するサポート柱は、前記垂直クリアランスに沿って互いに分離される。代わりに又は加えて、前記所望のパーツのキャビティ内に、内部収縮サポートが、前記同一複合物から形成される。前記内部収縮サポート間で、パーティングラインが、前記内部収縮サポートを前記分離クリアランスに沿って分離可能な小区分断片に分割する分離クリアランスとして形成されてもよい。前記小区分断片は、前記分離クリアランスに沿って互いに分離されてもよい。

【0017】

20

代わりに又は加えて、前記断片は、前記収縮サポートを交差させる平面内で隣接する分離クリアランスに沿って互いに分離可能なブロックとして形成される。前記収縮サポートとしての前記同一複合物の横サポートシェルが形成され、前記所望のパーツの横輪郭を追跡してもよい。任意に、前記横サポートシェルは、前記横サポートシェルと前記所望のパーツとの間に前記同一複合物の分離可能な取り付け突起を形成することにより、前記所望のパーツの前記横輪郭に接続されてもよい。さらに任意に、前記横サポートシェルにおいて、前記横サポートシェルをパーティングラインに沿って分離可能なシェル断片に分割するパーティングラインが形成されてもよい。前記収縮プラットフォーム、収縮サポート柱、横サポートシェル及び所望のパーツを含んでいる形状保持ブラウンパーツアセンブリを形成するために十分な前記母材がデバインドされてもよい。前記横サポートシェルは、前記パーティングラインに沿って前記シェル断片に分離されてもよい。前記シェル断片は、前記所望のパーツから分離されてもよい。

30

【0018】

さらに任意に、前記収縮プラットフォーム、前記収縮サポート及び前記所望のパーツの少なくとも1つは、内部チャンバ間の相互接続を有して堆積されてもよく、流体デバインダが、前記相互接続を介して前記内部チャンバ内に浸透し、前記オープンセル構造内から前記母材をデバインドする。代わりに又は加えて、前記金属微粒子充填材なしで、前記所望のパーツの前記形成中に下向きの力に抵抗する前記デバインド可能な母材の可溶性サポート構造が形成されてもよく、前記形状保持ブラウンパーツアセンブリを焼結する前に、前記可溶性サポート構造を溶解するために十分な前記母材がデバインドされる。

【0019】

40

なお、さらに任意に、前記収縮プラットフォームとビルドプレートとの間の横抵抗を減少させる前記収縮プラットフォームの底と等しい又は前記収縮プラットフォームの底より大きい表面積のライド剥離層が、前記収縮プラットフォームの下に形成されてもよく、前記収縮プラットフォームは、前記ポータブルビルドプレート上に形成されてもよい。前記ライド剥離層は、セラミック微粒子及び前記デバインド可能な母材を含んでいる剥離複合物により前記収縮プラットフォームの下で、前記ポータブルビルドプレート上に形成されてもよく、前記ビルドプレート、ライド剥離層及び形状保持ブラウンパーツアセンブリは、前記デバインド中及び前記焼結中にユニットとして一緒に保持されてもよい。

【0020】

さらに代わりに又は加えて、パーツ剥離層が、セラミック微粒子充填材及び前記デバイ

50

ンド可能な母材を含んでいる剥離複合物により前記収縮サポートと前記所望のパーツとの間に形成されてもよく、前記パーツ剥離層及び形状保持ブラウンパーツアセンブリは、前記デバインド中及び前記焼結中にユニットとして一緒に保持されてもよい。焼結後、前記パーツ剥離層、収縮プラットフォーム及び収縮サポートは、前記所望のパーツから分離されてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】金属3次元プリンタの概略図である。

【図2】3次元プリンタシステムのプロックダイアグラム及び概略図である。

【図3】図2の3Dプリンタの全体的な作業を説明するフローチャートである。 10

【図4】焼結サポート(例えば、収縮サポート)が設けられている3D印刷システム、パーツ及び工程の概略図である。

【図5】図4の図面の模式的な断面図である。

【図6】図4に対する代替的な3D印刷システム、パーツ及び工程の概略図である。

【図7】分離及び/若しくは剥離層、グリーンボディサポート並びに/又は焼結若しくは収縮サポートによる印刷、デバインド、焼結及びサポート除去の工程の一例の概略図である。 20

【図8】図4に対するさらに代替的な3D印刷システム、パーツ及び工程の概略図である。

【図9】図4に対するさらに代替的な3D印刷システム、パーツ及び工程の概略図である。

【図10】図4の3D印刷システム、パーツ及び工程の焼結されたアセンブリの上面図であり、サポートシェル又は焼結若しくは収縮サポートを除去するためのパーティングラインを示す。 20

【図11】図4に対する代替的な3D印刷システム、パーツ及び工程の焼結されたアセンブリの上面図であり、サポートシェル又は焼結若しくは収縮サポートを除去するためのパーティングラインを示す。

【図12】図8及び図9に模式的に示されるパーツの3D図である。

【図13】図8及び図9に模式的に示されるパーツの3D図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

本特許出願には、下記の開示の全体が参照により組み込まれている。米国特許出願第61/804,235号、61/815,531号、61/831,600号、61/847,113号、61/878,029号、61/880,129号、61/881,946号、61/883,440号、61/902,256号、61/907,431号及び62/080,890号。「複合フィラメント製造特許出願」又は「CFF特許出願」として、14/222,318号、14/297,437号及び14/333,881号が、本明細書中で参照されてもよい。本開示は様々な金属又はセラミック3D印刷システムについて検討しているが、本明細書中に説明されているように、少なくとも、CFF特許出願の機械的及び電気的な動作、制御並びにセンサシステムが使用されてもよい。これに加えて、米国特許第6,202,734号、5,337,961号、5,257,657号、5,598,200号、8,523,331号、8,721,032号及び米国特許公報第20150273577号の全体が参考により本明細書中に組み込まれている。 40

【0023】

3D印刷では、概して、パーツのオーバーハング又はジェッティング部は、堆積のための対向面を提供するために、下部に除去可能及び/又は可溶性及び/又は分散するサポートを必要としてもよい。金属印刷では、一つには、金属は特に高密度である(例えば、重量がある)ので、除去可能及び/又は可溶性及び/又は分散するサポートが、例えば、高温のような潜在的に変形する環境で垂下又は弛みに対して形状を保つために、途中又は後処理中の変形や弛みの防止に役立ってもよい。

【0024】

バインダ及びセラミック又は金属焼結材料を含んでいる3D印刷材料を使用した焼結可 50

能なパーツの印刷は、サポート構造により補助され、例えば、押し出しの下向き圧力に抵抗でき、堆積ビーズ又は堆積物を空間に配置できる。サポート構造とパーツとの間に介在する剥離層は、任意でモデル材に類似する（主要）母材又はバインダ成分で堆積された、例えば、セラミック又は高温金属等のより高い溶融温度材料を含んでいる。剥離層の下には、パーツとしてのモデル材が、サポート構造として使用され、同一圧縮／高密度化を促進する。このことは、パーツとサポートが均一に収縮するという意味を持つ傾向にあり、パーツの寸法精度を維持する。サポートの底部には、剥離層も印刷されてよい。これに加えて、サポート構造は、任意で機械的な又はその他の攪拌の存在下で、最終的に焼結されたサポート構造が、容易に除去できるよう、より小さな小区分に崩れやすくなるように、剥離層を持つ印刷されたセクションであってもよい。このようにして、大きなサポート構造は、実質的により小さな穴を介して内部空洞部から除去できる。これに加え又は代替的な手段として、さらなるサポート方法として、デバインド工程において除去される可溶性サポート材を印刷することがある。触媒デバインドとして、これはデルリン（POM）材であってもよい。均一収縮を促す1つの方法として、セラミック剥離層をパーツの最下層として印刷することがある。スライド剥離層（微小ボールベアリングに類似）の上には、パーツと均一に収縮する金属の薄板、例えば、ラフトが印刷されて、収縮工程中、相対的な位置にパーツ及び関連するサポート材を保持する「収縮プラットフォーム」を提供してもよい。任意で、ステープル又はタック、例えば、取り付けポイントが、印刷されているモデル材の部分を接続及び相互接続する。

【0025】

図1乃至図9のプリンタは、少なくとも2つのプリントヘッド18、10及び／又は印刷技術を有し、1つのヘッドで、パーツ及びサポート構造の両方を印刷するために使用される、デバインダ及び分散された球又は粉末18（熱可塑性又は硬化性）を含む複合材料を堆積させ、第2ヘッド18a（図4乃至図9に示される）で剥離又は分離材を堆積させる。任意で、第3ヘッド及び／又は第4ヘッドは、グリーンボディサポートヘッド18b及び／又は連続的なファイバ堆積ヘッド10を備える。ファイバ強化複合フィラメント2（本明細書中では、連続コア強化フィラメントとも呼ばれる）は、実質的に間隙がなくてもよく、内部の連続的なシングルコア又はマルチストランドコアを被覆、浸透又は含浸するポリマー又は樹脂を含んでもよい。なお、印刷ヘッド18、18a、18bが押出プリントヘッドとして示されているが、本明細書中で使用される「充填材印刷ヘッド」18、18a、18bは、充填材を堆積させるための光学若しくはUV硬化、熱融合若しくは焼結、又は「ポリジェット」、液体、コロイド、懸濁液若しくは粉末ジェッティング装置（不図示）を、本明細書中に説明されている他の機能的要件（例えば、グリーンボディ材が、重力又は印刷力に対する印刷をサポートし、焼結又は収縮が、重力に対してパーツをサポートして、焼結中の原子拡散を介して均一収縮を促し、剥離又は分離材は、実質的にシステム部をデバインドすることを通して形状を留めるが、焼結後、除去可能、分散、粉末化しやすくなる）が満たされる限り、備えてもよい。

【0026】

図1乃至図9は、一般的には、3つの直交する並進移動方向に各印刷ヘッドを相対的に動かすためのカルテシアン配置を示しているが、他の配置は、少なくとも3つの自由度で（すなわち、4つ以上の自由度でも）、印刷ヘッド及び3D印刷されたパーツをサポートするビルドプレートを相対的に動かしてもよいドライブシステム又はドライブ又はモータ付ドライブの適用範囲内で考慮して、それらによって明確に記述されている。例えば、3つの自由度として、デルタパラレルロボット構造は、基部でユニバーサルジョイントに接続された3つの平行四辺形のアームを使用してもよく、任意で印刷ヘッドの配向（例えば、印刷ヘッド及びビルドプレート内の3つの電動の自由度）を維持する又は印刷ヘッドの配向（例えば、印刷ヘッド及びビルドプレート内の4以上の自由度）を変更する。他の例として、印刷ヘッドは、3つ、4つ、5つ、6つ又はそれ以上の自由度を持つロボットアームに取り付けられてもよい、及び／又はビルドプラットフォームは、3次元に回転、並進移動してもよいし、スピナされてもよい。

【0027】

ファイバ強化複合フィラメントは、使用の際、母材材料のために選択された制御温度まで任意で熱せられた導管ノズルを通して、搬送され、引きずられ、及び／又は引っ張られて、所定の粘度、結合したランクの接着力、溶融特性及び／又は表面仕上げを維持する。ファイバ強化フィラメントの母材材料又はポリマーが実質的に溶融した後、連続コア強化フィラメントがビルドプラテン16上に加えられ、パーツ14の連続層を構築し、3次元構造を作り出す。ビルドプラテン16及びプリントヘッド18、18a、18b及び／又は10の相対的な位置及び／又は配向は、制御部20により制御され、本明細書中に説明されている各材料を所望の配置位置及び方向に堆積させる。従動ローラセット42、40が、フィラメントの座屈を防ぐ遊合領域(clearance fit zone)に沿って、連続的なフィラメントを動かしてもよい。縫い工程では、溶融母材材料及びフィラメントの軸方向のファイバストランドが、軸方向の圧縮時に、押圧されてパーツ及び／又は下側のスワス(swaths)となってもよい。ビルドプラテン16及び印刷ヘッドが、互いに並進移動するにつれて、フィラメントの端部がアイロンリップに接触し、次々と継続的に横断圧力領域にアイロンがかけられ、結合したランク又は複合スワスをパーツ14に形成する。

10

【0028】

図1を参照して、プリントヘッド18、18a、18b、10のそれぞれは、プリンタのX、Yモータ付機構がそれらを同時に動かすように、同一のリニアガイド若しくは異なるリニアガイド又はアクチュエータに搭載されていてもよい。図示されるように、各押出プリントヘッド18、18a、18bは、溶融ゾーン若しくは溶融リザーバ、ヒータ、熱抵抗器又はスペーサー(任意でエアギャップ)によって形成される高温勾配ゾーン及び／又はテフロン(登録商標)、すなわちPTEチューブを有する押出ノズルを備えてよい。1.75mm乃至1.8mm、3mm、又はより大きい若しくはより小さい熱可塑性フィラメントが、例えば、直接駆動によって又はボーデンチューブの溶融リザーバ内への押出背圧の供給によって動かされる。

20

【0029】

図2は、ブロックダイアグラム及び3次元プリンタの機構、センサ及びアクチュエータを制御し、本明細書中に示される制御プロファイル及び説明されている工程を行う指示を実行する3次元プリンタ制御システムを示す。プリンタは、例えば、3つのコマンドモータ116、118、120のあり得る構成を示すために、概略的に示されている。なお、当該プリンタは、プリントヘッド18、18a、18b及び／又は10の複合アセンブリを含んでもよい。

30

【0030】

図2に示されるように、3次元プリンタ3001は、ファイバヘッドヒータ715、ファイバフィラメントドライブ42及び複数のアクチュエータ116、118、120に動作可能に接続される制御部20を備え、制御部20は、フィラメントドライブにファイバを堆積及び／又は圧縮させてパーツにする指示を実行する。指示は、フラッシュメモリに保持され、RAM(不図示、制御部20に埋め込まれていてもよい)で実行される。スプレー塗装を塗布するためのアクチュエータ114も、本明細書中に説明されているように、制御部20に接続されてもよい。ファイバドライブ42に加えて、押出プリントヘッド1800を供給するために、制御部20が、各フィラメントフィード1830(例えば、ヘッド18、18a及び／又は18bそれぞれに対し1つまで)を制御してもよい。任意で複合プリントヘッドに搭載され、それと共に動き、リボンケーブルを介して主制御部20に接続されるプリントヘッドボード110は、特定の入力及び出力を開始する。アイロン先端部726の温度は、サーミスタ又は熱電対102により制御部20によってモニターされてもよく、いずれかの付随する押出プリントヘッド1800のヒータブロック保持ノズル1802の温度も、各サーミスタ又は熱電対1832によって測定されてよい。アイロン先端部726を加熱するためのヒータ715及び各押出ノズル1802を加熱するための各ヒータ1806は、制御部20が制御する。ヒートシンクファン106及びパーツファン108は、それぞれ冷却用ではあるが、プリントヘッド間で共有されてもよいし

40

50

、独立して提供されてもよく、制御部 20 が制御する。距離計 15 もまた、制御部 20 がモニターする。サーボモータ、ソレノイド又は同等品であってもよい、カッタ 8 アクチュエータも、動作可能に接続される。1つの又は任意のプリントヘッドを持ち上げてパーティから離す（例えば、ドリッピング、スクレーピング、又はラビングを制御する）ためのリフタモータもまた、制御されてもよい。アクチュエータ 116、118、120 が、それらの適正移動範囲の端部まで到達した時を検出するリミットスイッチ 112 も、制御部 20 がモニターする。

【 0 0 3 1 】

図 2 に示されるように、分離したマイクロコントローラを含んでもよい、追加のブレークアウト基板 122 が、制御部 20 へのユーザインタフェース及び接続を提供する。10 802.11 Wi-Fi ブラウザは、制御部をローカル無線ネットワーク及び一般のインターネットに接続し、リモート入力、指示、及び制御パラメータを送信及び受信する。タッチスクリーン表示パネル 128 は、ユーザフィードバックを提供し、ユーザからの入力、指示、及び制御パラメータを受け付ける。フラッシュメモリ 126 及び RAM 130 は、ユーザインタフェースマイクロコントローラ及び制御部 20 用のプログラム及びアクティブな指示を保管する。

【 0 0 3 2 】

図 3 は、図 1 乃至図 9 のプリンタ 1000 の印刷作業を示すフローチャートを示す。図 3 は、共通に取り付けられたFFF 押出ヘッド 18、18a 及び / 又は 18b 並びに CFF 特許出願にあるようなファイバ強化フィラメント印刷ヘッドを交互にかつ組み合わせて使用するに行われてもよい制御ルーチンを、連動機能として説明する。20

【 0 0 3 3 】

図 3 では、印刷の開始に、制御部 20 がステップ S10において、印刷される次のセグメントが、ファイバセグメントか否かを判定し、ファイバフィラメントセグメントが印刷される場合、工程を S12 へ進め、例えば、ベース、充填又は塗装を含む他のセグメントの場合は、ステップ S14 へ進める。ルーチン S12 及び S14 のそれぞれ又はどちらかが、セグメントを完成させた後、図 3 のルーチンは、ステップ S16 でスライスの完了をチェックして、セグメントがスライス内に残る場合、ステップ S18 で、次の予定されているセグメントにインクリメントし、判定とファイバセグメント及び / 又は非ファイバセグメントの印刷を続ける。同様に、ステップ S16 でスライスが完了した後、ステップ S20 でスライスが残る場合、ルーチンはステップ S22 で次の予定されているスライスにインクリメントして、判定とファイバセグメント及び / 又は非ファイバセグメントの印刷を続ける。本明細書中で使用される「セグメント」は、「ツールパス」及び「軌道」に対応し、例えば、開口していても閉じっていても、線であっても、ループであっても、カーブしていても、ストレートであってもよい始まりと終わりを有する線形のロウ、ロード又はランクを意味する。セグメントは、プリントヘッドが材料を連続的に堆積させ始めると開始し、プリントヘッドが堆積することをやめると終了する。「スライス」は、3D プリンタで印刷される予定の単一層又は薄片であり、スライスは、1つのセグメント、多数のセグメント、セルの格子充填、他の材料、及び / 又はファイバ埋め込みフィラメントセグメントと純粋なポリマーセグメントとの組み合わせを含んでもよい。「パーティ」には、パーティを作り上げるための複数のスライスが含まれる。図 3 の制御ルーチンは、複合プリントヘッド 18、18a、18b 及び / 又は 10 を含む、1、2、又はそれ以上（例えば、4）の異なるプリントヘッドでのデュアルモード印刷を可能にする。3040

【 0 0 3 4 】

先に説明された全ての印刷された構造は、いかなる種類、まばら、高密度、同心、疑似等方性の強化纖維構造、又、そうでない場合は、充填材又は単純な樹脂構造を明確に含む、本明細書中に説明されている印刷工程中に印刷された物品内に埋め込まれてもよい。これに加えて、パーティへの埋め込みに関して説明したすべての場合において、熱可塑性押出堆積を使用して充填材ヘッド 18、18a、18b によって印刷された構造は、可溶性物質（例えば、可溶性熱可塑性物質又は塩）と交換されて、パーティ印刷用の印刷基板を形成

してもよい可溶性プリフォームを形成して、その後取り除かれてもよい。本明細書中に説明されている全ての連続的なファイバ構造、例えば、サンドイッチパネル、シェル、壁、穴又は特徴部を囲む補強等は、連続的なファイバ補強部分の一部であってもよい。

【 0 0 3 5 】

充填材（金属、セラミック及び／又はファイバを含むデバインド可能な母材と複合）、可溶性（例えば、「可溶性」には、場合によっては、熱、熱分解又は触媒処理によってデバインド可能なことも含まれる）材料、又は連続的なファイバのどれかを堆積させてもよい図1乃至図9までを含めて参考して本明細書中に説明されている3Dプリンタを使用して、強化繊維は、添加剤【0034】であってもよい。図1及び図2を参考して、各プリントヘッド18及び10は、プリンタ1000のX、Yモータ付機構116、118によって同時に動かされるように同一リニアガイドに搭載されている。1.75mm乃至1.8mm、3mm以上以下の金属フィラメント10bが、例えば、直接駆動によって駆動されてもよいし、又はボーデンチューブが溶融リザーバ10a又はるつぼ内に押出背圧の供給によって駆動されてもよい。

10

【 0 0 3 6 】

印刷に適切な商業的に価値のある金属として、アルミニウム、チタニウム及び／又はステンレス鋼が挙げられ、高温及び低温の両方で酸化抵抗のあるその他の金属（例えば、非晶質金属、ガラス状金属又は金属ガラス）も挙げられる。

【 0 0 3 7 】

後処理の一形態として焼結がある。本明細書中に説明されている型成形又は3D印刷によって、1以上のバインダ及び粉末状又は球状金属又はセラミック（均一又は好適に分散された粒子又は球体サイズ）を含む適切な材料からグリーンボディ（green body）が生成されてもよい。グリーンボディから1以上のバインダを除去して（溶剤、触媒作用、熱分解を使用して）ブラウンボディ（brown body）が生成されてもよい。ブラウンボディはその形状を維持したまま、残存するバインダの再溶融によって、グリーンボディよりも優れた衝撃耐久を有していてもよい。ブラウンボディが、高温及び／又は高圧で焼結される際、残存するバインダは、熱分解されてなくなてもよく、ブラウンボディは焼結されるにつれて均一に収縮する。焼結は、不活性ガス内、還元ガス内、反応気体内、又は真空中で行われてもよい。熱（及び任意で）圧力を加えると、金属又はセラミックビーズの間及びその中の内部気孔、間隙、及び微小空洞が、少なくとも拡散接合及び／又は原子拡散によって除去される。モデル材と同じか異なるかのどちらかである、サポート材料は、印刷、後処理、又は焼結されるパーツを、印刷自体の堆積力に対し及び／又は重力に対し、特に支持されていない一直線又は低角度のスパン又はカンチレバーを支持する。

20

【 0 0 3 8 】

前述のように、パーツの印刷は、サポート構造により補助され、例えば、押出の下向きの圧力に抵抗でき、堆積ビーズ又は堆積物を空間に配置できる。本明細書中に説明されているように、剥離層は、モデル材に類似する（主要）母材成分を介して任意に堆積された、セラミック等のより高い溶融温度材料を含む。剥離層の下には、同一（金属）材料がパーツとして使用され、同一圧縮／高密度化を促進する。このことは、パーツ及びサポートが均一に収縮するという意味を持つ傾向にあり、パーツの寸法精度を維持する。サポートの底部には、剥離層も印刷されてよい。これに加えて、サポート構造は、任意で機械的な又はその他の攪拌の存在下で、最終的に焼結されたサポート構造が、容易に除去できるよう、より小さい小区分に崩れやすくなるように、剥離層を持つ印刷されたセクションであってもよい。このようにして、大きなサポート構造は、実質的により小さな穴を介して内部空洞部から除去できる。これに加える又は代替的な手段として、さらなるサポート方法として、デバインド工程において除去される可溶性サポート材を印刷することがある。触媒デバインドとして、これはデルリン（POM）材であってもよい。均一収縮を促す1つの方法として、セラミック剥離層をパーツの最下層として印刷することがある。スライド剥離層（微小ボールベアリングに類似）の上には、パーツと均一に収縮する金属の薄板、例えば、ラフトが印刷されて、収縮工程中、相対的な位置にパーツ及び関連するサポート

30

40

50

材を保持する「収縮プラットフォーム」を提供してもよい。任意で、ステープル又はタック、例えば、取り付けポイントが、印刷されているモデル材の部分を接続及び相互接続する。

【0039】

図4乃至図7は、模式的に、関連工程、構造、材料及びシステムのさらなる説明を示す。図4乃至図7に示すように、工程の堆積段階に適した3Dプリンタは、(例えば、連続的な複合堆積ヘッドのみならず)モデル材及びサポートを堆積させるための1つ、2つ、3つ又はより多く堆積ヘッドを備えててもよい。図4に示すように、モデル材堆積ヘッド18は、ポリマー、ワックス及び/又は他のユーティリティ成分をバインドする可溶物又は母材のみならず、金属又はセラミックの球状粉末を含む複合材料を堆積させる。モデル材堆積ヘッド18では、工程が、低直径のフィラメント(例えば、1mm乃至4mm)を材料供給及び押出のための背圧の両方として使用されてもよい。この場合、モデル材押出フィラメントは、下記のグリーンボディのサポート又は焼結(いわゆる収縮)サポートがない状態でも、ギャップ又はスパンをわたって印刷する間に橋渡しをサポートするために、固くあっても、供給されたままで適度に成形しやすく(例えば、0.1GPa乃至3.0GPaの曲げ弾性率)、流体化させた時に適度に粘性があってもよい(例えば、溶融又は動的粘度が100Pa.s乃至10,000Pa.s、好適には、300Pa.s乃至1000Pa.s)。

10

【0040】

図4に示される3Dプリンタ及び例示のパーツにおいて、分離又は剥離材料堆積ヘッド18-S及びグリーンボディサポート材堆積ヘッド18-Gは、印刷されているパーツP1に対して、少なくとも3つの相対的な自由度を持って動くようにさらに支持されてもよい。本明細書中に説明されているように、分離材は、場合によっては、グリーンボディサポートとして機能してもよく、代替的に、図7に示すように、1つのヘッド18-SGのみが、グリーンボディサポート材及び分離材の両方を堆積させてもよい。図4に示すように、底部から上部まで(この場合、3D印刷は底部から上に向かって行われる)、これらの例示の工程では、印刷された第1層は、例えば、分離材堆積ヘッド18-SGから印刷されるラフト分離層又はライド剥離層SL1である。分離材は、本明細書中に記されるように、モデル材と同様のデバインド材であってもよいが、例えば、モデル材の焼結温度において焼結、溶融、又、そうでない場合は、バインドしない、セラミック又は他の球状粉末充填材(例えば、微粒子)等を有する。それ故、溶剤、触媒作用、熱分解、分散可能及び/又は除去可能な粉末(例えば、焼結後、焼結工程が終わった後ですら残留する焼結されていない分離材の粉末)を残すことによって、分離材は、そのデバインド材が、完全に除去されてもよい。「分離」及び「剥離」は、本明細書中では一般に言い換え可能に使用される。

20

【0041】

図5A乃至図5Dは、印刷及び他の工程段階を説明する目的で、図4の選択された断面図を示す。なお、図面は、必ずしも原寸に比例していない。特に、非常に小さなクリアランス又は材料が充填されたクリアランス(例えば、分離又は剥離層)又は構成部(例えば、スナップ取り外しのための突起部)が、明確な説明のため、拡大したスケールで示されてもよい。さらに、場合によっては、中実体が説明を簡略するために示されているが、本明細書の中実体の内部構造は、インフィルパターン(例えば、ハニカム)で3D印刷されてもよい、及び/又は、CF特許出願に説明されている、細かく切った、短い、長い若しくは連続的なファイバ強化物を含んでいてもよいことに留意する。

30

【0042】

図4及び図5Aに示すように、任意で着脱自在及び可搬の任意でセラミックのビルドプレート16上に、ラフト分離層SL1が印刷され、場合によってはデバインド前に又は場合によってはデバインド工程中に(図7に示される例)、(例えば、可搬の)ビルドプレート16自体がまだ取り付けられている際に、上部に印刷されたラフトRA1をビルドプレート16から除去しやすくしてもよい。

40

50

【 0 0 4 3 】

図4及び図5Bに示すように、ラフト分離層SL1の印刷に続いて、モデル材（例えば、金属含有複合材）のラフト又は収縮プラットフォームRA1が印刷される。ラフト又は収縮プラットフォームRA1は、焼結中の物質輸送及び収縮の工程が、共通質量中心又は重心まわりで均一に実施されるように、例えば、連続的なモデル材の土台又はパーツとのサポートとの間での材料の相互接続を提供する目的で印刷される。ラフトRA1は、他の目的、例えば、早期の接着を改善すること、環境的に問題のある（例えば、濡れた、酸化した）材料を供給パスから除去すること、又は印刷ノズル若しくは他のパス要素（例えば、ローラ）を調整すること等を果たしてもよい。上記のように、グリーンボディサポート（印刷工程中に印刷されているパーツをサポートするが、焼結前又は最中に取り除かれる）及び焼結（例えば、収縮）サポート（焼結工程中に焼結されているパーツをサポートする）である、2つの一般的なクラスのサポートが使用されてもよい。サポートによっては、両方の役割を果たしてもよい。図4及び図5Bに示すように、印刷全体の上部がグリーンボディサポートの恩恵を受ける場合は、グリーンボディサポートGS1の下層は、ビルドプレート16上に印刷されるか、図4及び図5Bに示すように、分離層SL1及び／又はラフト若しくは収縮プラットフォームRA1上に印刷されるかのいずれかであってよい。

10

【 0 0 4 4 】

図4及び図5Cに示すように、続いて、ラフトRA1は、継続して、周囲又は側部シェルサポート構造SH1（切れ目がないか、又はパーティングラインPL及び／若しくは物理的分離構造（例えば、屈曲して剥離してもよい、すばんだ及び／若しくは細い腰の、並びに／又は有孔の、又はさもなくば脆弱化した断面）を介してかのいずれか）になってよい。さらに、分離構造、この場合では、モデル材突起部P1と、任意で介在分離層SL2と、は、ラフトRA1とシェルSH1との間に印刷されてもよく、焼結の後にラフトRA1及びシェルSH1を除去できるようにする。グリーンボディサポートGS1の印刷が連続して、この場合では、後に、オーバーハング又はカンチレバー部OH1のための焼結サポートを提供するため、及び同一オーバーハング又はカンチレバー部OH1のための印刷サポートのためのグリーンボディサポートGS1を構築するために印刷された、角度のある（例えば、垂直から10度乃至45度）、まばらな及び／又は分岐する焼結（例えば、収縮）サポートSS1に対する印刷サポートを提供する。「印刷サポート」とは、印刷中の印刷の背圧又は重力に対するサポートを意味してもよく、一方、「焼結サポート」とは、焼結中の重力に対するサポート、他の外部／内部応力に対するサポート、又は均一に分散した物質輸送及び／又は原子拡散を容易化する相互接続を提供することを意味してもよい。オーバーハング又はカンチレバー部OH1は、図4に示されているが、サポートされていないスパン部は、2つの対向辺でパーツP1に隣接していたとしても、上述の通り、サポートによる恩恵を受けてよい。

20

【 0 0 4 5 】

図4及び図5Dに示すように、周囲シェルサポート構造SH1は、層状に印刷され続け、任意で、例えば、シェルサポート構造SH1に接続されたモデル材の突起部P1及び／又は分離層材SL2の材料を介して、パーツ14に垂直に又は斜めに相互接続される。パーティングライン及び分離構造も同様に、垂直に連続する。パーツP1の内部ボリュームV1、この場合では、筒状ボリュームV1は、グリーンボディサポートGB2で印刷されており、印刷中に、モデル材が十分に粘性を持っている又は形状保持している場合、3D印刷工程は、ギャップを橋渡しするか又は斜めに積み重ねてもよく、傾斜壁を持つ内部ボリューム又はアーチのような壁は、焼結サポートを必要としない可能性がある。代替的に、内部ボリュームV1は、例えば、オーバーハングOH1の下部のサポートと同様に、焼結サポートで又はグリーンボディサポートと焼結サポートとの組み合わせで印刷される。内部ボリュームV1はパーツ外へのチャネルを有して印刷され、サポート材を、除去、洗浄、又は、伝熱又は溶剤若しくは触媒として使用される流体若しくは気体によって、よりアクセスしやすくする。グリーンボディサポートGS1及び分岐焼結サポートSS1は、

30

40

50

同様に連続する。

後に、オーバーハング又はカンチレバー部 O H 1 のための焼結サポートを提供するため、及び同一オーバーハング又はカンチレバー部 O H 1 のための印刷サポートのためのグリーンボディサポート G S 1 を構築するため。

【 0 0 4 6 】

図 4 及び図 5 D に示すように、オーバーハング又はカンチレバー部 O H 1 は、焼結サポートが、印刷工程中に、例えば、わずかなオフセット（角度をつける）を持って積み重なる層状に印刷される間の、モデル材の固有の剛性、粘性又は他の特性によって、又は代替的に若しくは追加的に、例えば、グリーンボディサポート G S 1 によって提供される側面及び垂直サポートによってのいずれかで自立する限り、焼結サポート S S 1 によって斜めにサポートされてもよい。焼結サポートはまた、焼結行程中に、パート 1 4 と一体としたまま又はパート 1 4 をサポートするように頑丈でなくてはならない。

【 0 0 4 7 】

最後に、図 4 に示すように、パート 1 4 の残留物、サポートシェル構造 S H 1 、焼結（例えば、収縮）サポート S S 1 及びグリーンボディサポート G S 1 、G S 2 が印刷されて完成する。印刷されると、基本的にパート 1 4 のすべての部分が、グリーンボディサポート G S 1 、G S 2 、焼結（例えば、収縮）サポート S S 1 、ラフト R A 1 、分離層 S L 1 及び / 又は S L 2 のいずれかを介して、垂直方向にサポートされている。パート 1 4 の部分又は自立した（例えば、モデル材複合材の材料特性又は外部ボディの提供するサポート、並びに / 又はサポートの除去、デバインド及び / 若しくは焼結中に十分な剛性があるので）パート 1 4 内の構造は重力に対してサポートされる必要はない。これに加えて、サポート構造 S S 1 、ラフト R A 1 及び / 又はシェル構造 S H 1 は、焼結中に同一質量中心若しくは重心まわりに収縮する傾向又はパート 1 4 の隣接部に対して相対的な局所的規模を少なくとも維持する傾向で、パート 1 4 に対するモデル材と相互接続する。従って、焼結工程の約 20 % の均一収縮中、これらサポート構造はパート 1 4 と一緒に収縮し、重力に対するサポートを提供し続ける。

【 0 0 4 8 】

図 6 は、図 4 の 3 D プリンタ、印刷方法、パート構造及び材料のバリエーションを表す。図 6 では、分離グリーンボディサポート堆積ヘッド 1 8 c は提供されない。従って、グリーンボディサポート及び分離層は、例えば、セラミック又は高温金属粒子若しくは球が、例えば、2段階デバインド可能な母材内に分散している分離層に使用される複合材料等の、同じ材料から形成される。この場合、グリーンボディサポートは、必ずしも、デバインド中若しくは前又は分離工程中に、除去されないが、その代わりに、単に、デバインド中に弱められ、分離層と同様に、焼結中に熱分解したそれらの残留するポリマー材を有する。残留するセラミック粉末は、焼結後に、分離層と同時に、洗浄及び / 又は除去できる。

【 0 0 4 9 】

図 7 は、工程の全体的な一模式図を示す。初めに、3 D 印刷段階では、パート 1 4 は、そのグリーンボディサポート、焼結サポート及び分離層と共に、上記のように、3 D プリンタで印刷される。これらすべてを含むグリーンボディは、任意でセラミック又は他の材料のビルドプレート 1 6 にまだ結合しているが、デバインドチャンバ（任意で、デバインドチャンバは 3 D プリンタに一体化している、又はその逆である）に移される。上述のように、グリーンボディサポートが、第 1 段階のデバインド材と異なるポリマー又は物質製である場合、デバインド前に分離工程でグリーンボディサポートを除去してもよい。グリーンボディサポートが、第 1 段階のデバインド材と同一若しくは類似の物質か、分解又は分散によりデバインド工程に反応するものかのいずれかできている場合、グリーンボディサポートは、デバインド中に除去されてもよい。従って、図 7 に示すように、デバインドすることは、熱工程、溶媒工程、触媒工程又はこれらの組み合わせを利用してモデル材から第 1 バインダ成分を除去すること、多孔質のブラウンボディ構造を放置すること（「デバインド」）を含み、任意で、グリーンボディサポートを、溶解、溶融及び / 又はグリーンボディサポートに触媒作用を及ぼしてなくすることを含んでもよい（「サポート除去 1

10

20

30

40

50

」)。

【0050】

図7に続き、図示されるように、ブラウンボディは、焼結チャンバ又はオープン(任意でプリント及び/又はデバインドチャンバと組み合わされる)に移される。ブラウンボディは、パーツ、任意で周囲シェル構造、及び任意で焼結サポートを含む。上述の通り、周囲シェル構造及び焼結(例えば、収縮)サポートは、焼結サポート構造の異なる態様である。任意で、シェル構造及び/又は焼結サポートの間に介在するのは、例えば、分離材から成る分離層である。任意で、シェル構造及び/又は焼結サポートの間に介在るのは、パーツにこれらを相互接続するモデル材の突起部又はリッジである。任意で、同一又は類似の分離材が、ブラウンボディとビルドプレートとの間に介在する。焼結中に、ブラウンボディは、約20%均一に収縮し、原子拡散によりブラウンボディ内の内部多孔質構造をふさぐ。モデル材の第2段階デバインド成分は、焼結中に熱分解されてもよい(例えば、触媒作用又は気体、又、そうでない場合は、流動可能な形態の他の反応性薬剤の支援があることを含む)。

10

【0051】

図7に示すように、焼結ボディは、焼結オープンから取り出すことができる。サポートシェル構造及び焼結サポートは、パーティングラインに沿って及び/若しくは分離層に沿って、並びに又は突起接続部、タック又は他の特に機械的に弱い構造をスナップすること又は曲げることによって、分離又は崩壊させることができる。分離層は粉末化され、除去されやすい。グリーンボディサポートが、分離材から成る場合は、グリーンボディサポートは、同様に粉末化され、除去されやすくてよい。

20

【0052】

図8は、図4で印刷されたパーツのバリエーションを示す。図8に示すパーツは、4つのオーバーハング又はカンチレバーセクションOH2乃至OH5を含む。オーバーハングOH2は、カンチレバー状のより薄いオーバーハングOH3の下の、より低い位置のより厚いオーバーハングである。低いオーバーハングOH2は、場合によっては、長さ、薄さ、重さが十分で、グリーンボディサポート及び焼結サポートの両方が必要にならてもよい、長いカンチレバーオーバーハングOH3の下にある自立したカンチレバーとして、焼結サポート又はグリーンボディサポートでさえもなしに印刷されてもよい。オーバーハングOH4は、下向きに傾くオーバーハングであって、グリーンボディサポートと共に印刷されなくてはならず(なぜなら、そうしないと、その最下部が、すなわち、印刷中に自由空間において、支持されないからである)、ドラフト又はパーティングラインなしには、下部に印刷された焼結サポートを除去するのが困難な形態(なぜなら、硬性の焼結サポートが膠着状態になり得るため)で印刷されなくてはならない。オーバーハングOH5は、モデル材の重量のあるブロックを含むカンチレバーで、グリーンボディ及び焼結サポートの両方を必要としてもよい。これに加えて、図8に示されるパーツは、内部筒状ボリュームを含み、ここから、小さなチャネルを介して必要ないかなる焼結サポートも除去されなくてはならない。参照として、図8のパーツ14の3D形状が図12及び図13に示されている。

30

【0053】

図8に示すように、図4及び図6の焼結サポートSS1と対照的に、焼結(例えば、収縮)サポートSS2、サポートオーバーハングOH2及びOH3は、薄肉の垂直部材を含んで形成されてもよい。焼結サポートSS2の垂直部材は、独立型(例えば、垂直ロッド又はプレート)又はインタロック型であってもよい(例えば、アコードイオン又はメッシュ構造)。図8に示すように、焼結サポートSS2(又は実際は、図4及び図6の焼結サポートSS1若しくは図8の焼結サポートSS3、SS4及びSS5)は、ラフトRA2、パーツ14a及び/又は互いに、(例えば、モデル材に切れ目なく印刷されているが、相対的に小さな断面領域に)直接的にタックされてもよい。逆に、焼結サポートSS2は、分離層の上部、下部又は隣にタックなしで印刷されてもよい。図示されるように、焼結サポートSS2はパーツ14aの直交する凹形表面から除去可能である。

40

50

【 0 0 5 4 】

さらに、図 8 に示すように同様の焼結（例えば、収縮）サポート S S 3 が、下向き傾斜オーバーハング O H 4 の下及びより重量のあるオーバーハング O H 5 の下に印刷される。これらサポート S S 3 は、除去しやすくてよいため、一部又は全てが、例えば、分離材から形成される、及び／若しくは機械的に弱められた分離構造から形成される（例えば、本明細書中に説明されている、ほぼ又は辛うじて当接するクリアランスをもって印刷する又は細腰の、すばんだ又は有孔の断面をもって印刷する等）又はこれらの組み合わせから形成される（又は、これが別々に印刷されている場合、任意でセラミック又は金属の含有がほとんどない又はまったくないグリーンボディサポート材を有するものの一方又は両方の組み合わせ）パーティングライン P L 付きで印刷される。焼結サポートの除去を容易にする、これらの材料又は機械的な分離構造は、図 4 乃至図 7、図 9 及びすべてに示される様々な焼結サポートへと同様に印刷されてもよい。

10

【 0 0 5 5 】

これに加えて、図 8 に示すように、焼結（例えば、収縮）サポート S S 5 は、内部ボリューム V 2 内に印刷される。焼結サポート S S 5 はそれぞれ、多数のパーティングラインを備え、それによって、この場合には、焼結サポートは、内部ボリューム V 2 に接続するチャネルを介して除去されやすいほどに十分に小さな部分に崩れる又は粉々にできる。図示されるように、その形状を保持するため、印刷中及び焼結中の両方において十分な剛性を持つ小径孔の例として、チャネル C H 2 自体は内部サポート付きで印刷されていない。当然、いずれか又は両方のタイプのサポートが、形状保持を確保するために印刷されてもよい。

20

【 0 0 5 6 】

図 9 は、実質的に図 8 に類似するが、構造にいくつかのバリエーションを呈する。例えば、オーバーハング O H 3 の下に、一枚でできたぴったり合うシェル S H 3 が、モデル材で印刷され、剥離若しくは分離層 S L 2 及び／又は突起部 P 1 のいずれかによって、パート 1 4 から分離される。一枚でできたシェル S H 3 は小さな開口したセル穴を全体に持ち、軽量化、材料の節約及びデバインドのための気体又は液体の浸透又は拡散を向上させる。このシェル S H 3 は、十分なパーティングライン又は剥離層がシェル S H 3 に印刷される場合（例えば、図面の左側の構造 S H 4 及び S H 5 の代わりに、同様の構造が配置され得る）、及び工作物保持ピースとしての機能を果たす下記を十分に形成する場合、パート 1 4 を包囲してもよい。

30

【 0 0 5 7 】

図 9 の他の例では、一枚でできた（例えば、側方）サポート（例えば、収縮）シェル S H 4 は、ラフト R A 2 と一緒に印刷されているが、分割及びサポートシェル S H 4 の除去の許容のために角度を持つパーティングライン P L を有する。図 9 に示されるさらなる例では、サポートシェル S H 4 は、（材料の節約のため）上向きに角度をつけて印刷され、大きなセル又はハニカム内部を有して、軽量化、材料の節約及び／又はデバインドのための気体又は液体の浸透又は拡散の向上を行う。

【 0 0 5 8 】

図 9 はまた、例えば、連続的なファイバヘッド 1 0 によって堆積された連続的なファイバ層の例を示す。サンドイッチパネル強化層 C S P 1 は、例えば、オーバーハング O H 2 、O H 3 及び O H 5 の上側及び下側境界内等、様々な層に位置付けられる。

40

【 0 0 5 9 】

上述の通り、一例では、グリーンボディサポートは、熱、可溶性又は触媒のデバインド可能な複合材料（例えば、ポリオキシメチレンを含む触媒、POM／アセタール）及び高融点金属（例えば、モリブデン）又はセラミック球の母材から任意で印刷されてもよく、デバインドされると粉末が残されてもよい。他の例では、グリーンボディサポートは、熱、可溶性、熱分解又は触媒的に反応する材料（例えば、ポリマー又はポリマーブレンド）から印刷され、グリーンボディサポートが除去された時に、除去可能な副産物（気体又は溶解した材料）のみが残される。グリーンボディサポートは、デバインド前又は後に機械

50

的又は化学的又は熱的に除去されるように形成されてもよいが、好適には、熱、可溶性、熱分解又は触媒的に反応する材料から作られてもよく、デバインド段階（又はその直後、例えば、残留粉末を除去するためのその後の粉末清掃）中に完全に除去されてもよい。場合によっては、グリーンボディサポートは、デバインド前又は後に、デバインドから異なる化学／熱工程によって除去される。

【0060】

例示のPOM又はアセタールを含む触媒的にデバインド可能な複合材料は、二段デバインド材 (two-stage debinding material) の一例である。場合によっては、二段デバインド材では、第1段階で第1材料が除去され、デバインド中の気体流路用の相互接続された間隙を残す。第1材料は、溶融しても（例えば、ワックス）、触媒的に除去されても（例えば、触媒の表面反応で直接、気体に変換されても）、又は（溶剤内で）溶解してもよい。二段バインダ、例えば、第1材料工程には反応しないポリエチレンは、格子状で多孔質な形態で残留し、焼結まで待機する3D印刷物の形状を未だ維持する（例えば、金属又はセラミックボールが、焼結の原子拡散が始まるのに十分な温度まで加熱される前）。その結果、焼結サポートを含む又は焼結サポートに取り付けられている、ブラウンパーツとなる。パーツが、高温で焼結されるにつれ、二段バインダは、熱分解され、次第にガス状形態へと除去されてもよい。

10

【0061】

焼結サポートは、除去中に分離するように、少なくともいくつかの介在する剥離層材料を有してブロック又はセグメントの形態に形成されてもよい。タックされていない焼結サポートは、モデル材、すなわち、パーツと同じ複合材料から形成されてもよいが、剥離層、例えば、同一又は類似のバインド材を有するより高い温度の複合材によって、印刷されるパーツから分離できる。例えば、多くの金属印刷には、剥離層は、同一のバインドワックス、ポリマー又は他の材料を有する高温セラミック複合材から形成されてもよい。剥離層は、例えば、1枚の3D印刷層等、非常に薄くてもよい。金属が焼結されると、すでに第1段階のバインダが除去された剥離層は、セラミック材を焼結又は拡散接合するには温度不十分なため、基本的に粉末化する。これにより、タックされていない焼結サポートを、焼結後に容易に除去できるようになる。

20

【0062】

タックされた焼結サポートも、同様にモデル材、すなわち、パーツと同一の複合材料から形成されてもよいが、剥離層を貫通して又は剥離層なしでのいずれかで、パーツに接続してもよい。タックされた焼結サポートは、細い接続部を介して、すなわち、少なくともパーツに対して「タックされて」、パーツと隣接して印刷される。タックされた焼結サポートは、代替的に、又は追加的に、モデル材を有するパーツとサポートと相互接続するパーツの下のラフトと隣接するように印刷されてもよい。ラフトは、3Dプリンタのビルドプレートから、剥離層材料の1以上の層によって分離されてもよい。

30

【0063】

タックされた及びタックされていない焼結サポートの役割は、重力に対する十分なサポートポイントを提供して、重力による橋渡し部、スパン部又はオーバーハング部材料の弛み又は反りを防ぐ又は場合によっては修正することにある。タックされていない及びタックされた焼結サポートは両方とも役立つ。ブラウンボディは、焼結工程において、重心又は質量中心まわりに均一に原子拡散することによって収縮してもよい。金属焼結及びいくつかのセラミックでは、これは典型的に少なくとも部分的には固体原子拡散 (solid-state atomic diffusion) である。多数の相互接続された金属／セラミック球中の拡散ベースの物質輸送が、例えば、非常に薄い橋部が、大きな物質に接合するのを維持するほど十分な材料を輸送しない場合もあるが、これは必ずしも、一端橋部として1端のみで接続して（又は二端橋部として2端で接続、又は長さにわたって相互接続して）切れ目なく形成されてもよいサポートの場合というわけではない。

40

【0064】

タックされた焼結サポートが、その上にパーツが印刷されたモデル材ラフトにタック又

50

は接続されているそれらの場合、パーツ及びラフトサポート隣接パーティがそれぞれ、焼結中に均一に収縮し、サポートがパーツに対して過剰に動く相対移動がないように、タックされた焼結サポートとラフトとの中のモデル材の相互接続は、ラフトサポート隣接ボディの質量中心が、パーツの質量中心と、空間内の同じ位置に又はその近辺にくるように配置できる。他の場合、パーツ自体はまた、隣接ボディ全体が、共通質量中心まわりに収縮するように、モデル材ラフトにタックされてもよい。他のバリエーションの場合、パーツは、両端に（例えば、ラフトに及びパーツに）及び／又はそれらの長さに沿って（例えば、パーツに及び／又は相互に）タックされた、タック焼結サポートを介してラフトに相互接続される。

【0065】

他の場合、タックされていない焼結サポートは、ボリューム内に収容され、ラフト及び／又はパーツと隣接してもよい。ボリュームはモデル材から形成され、それらがそれら自身の質量中心（又は相互接続された質量中心）まわりで収縮してもよいが、空間を通して継続的に動かされ、周囲のモデル材によるパーツを支持する位置で保持されるようにする。例えば、このことは、図8又は図9の内部ボリュームV2の場合に有効であってもよい。

【0066】

代替手段において又は加えて、サポート又はサポート構造又はシェルは、例えば、図4乃至図9の特定の場合に示すように、重力に対して横方向でのパーツの形成に続いてモデル材から形成されてもよい。モデル材シェルは、（パーツにタックされてもよい）ベースラフトにタックされて印刷されてもよい。それらは、ベースラフトと一体で印刷されてもよいが、ベースラフトから分離可能である。ベースラフトは、モデル材シェルと共に分離可能であってもよい。これらのサポート構造は、パーツの側面の外側輪郭からオフセットされても、実質的にパーツの側面の外側輪郭をたどってもよいし、プリミティブ形状（一直線又は湾曲した壁）だがパーツに近いものから形成されてもよい。1バリエーションにおいて、サポート構造は、全ての面でパーツを包んでもよい（多くの場合、パーティングライン及び／又は分離構造を含んでおり、シェルが除去されるのを可能にしている）。これらのオフセットサポート構造は、分離層又は分離材の層で印刷されてもよい（任意に、機械的サポートを伝達させるが、分離するのは難しくないセラミック又は他の材料）。

【0067】

本明細書中に説明されているサポート構造の何れか、例えば、タックされた又はタックされていない焼結サポート及び／又はサポートシェルは、パーツとサポート構造（両方ともモデル材から形成される）との間に、介在分離材に代えて又は介在分離材に加えて、分離クリアランス又はギャップ（例えば、5ミクロン乃至100ミクロン）を有して印刷されてもよい。当該方法において、サポート構造の個々の粒子又は球は、焼結中に間欠的にパーツと接触してもよいが、分離クリアランス又はギャップが多くの位置で保存されるよう、サポート構造は、圧縮され、パーツと緊密なサポートで印刷されない。もし間欠的に接触している粒子において接合拡散が生じると、焼結後に分離クリアランスサポート構造を取り除くために必要な分離力は、「スナップアウェイ」又は「タップアウェイ」であってもよく、どんな場合でもパーツの一体の又は隣接する拡張より非常に低い。

【0068】

代替手段において、パーツとサポート構造との間の分離ギャップ又はクリアランスは、より近く又はより遠く又はその両方で、例えば、パーツの横輪郭に続くサポート構造の残りのいくつかと共に、輪郭に続く部分セグメントに位置付けられてもよい。例えば、サポート構造は、サポート構造の大部分に対して小さな分離ギャップ（5ミクロン乃至100ミクロン）を有して印刷されてもよいが、パーツ（例えば、1ミクロン乃至20ミクロン）にさらに近い印刷された輪郭に部分的に実質的に続く他の区分により、焼結中に剛性及びサポートの増加をもたらすが、一般に一連の制限された接触域が除去を可能にする。これは、また、大きい及び中位のギャップ（例えば、任意に分離材介在によるより大きいクリアランスサポート構造に対する100ミクロン乃至300ミクロンの分離及びより近い次のサポート構造に対する5ミクロン乃至100ミクロン）により実施されてもよい。さ

10

20

30

40

50

らに、これは、3以上のレベル（例えば、パーツの輪郭に続くサポート構造の異なる部分における100ミクロン乃至300ミクロンのギャップ、5ミクロン乃至100ミクロンのギャップ及び1ミクロン乃至20ミクロンのギャップ）で実施されてもよい。

【0069】

任意に、焼結サポート構造は、より大きい（例えば、5ミクロン乃至300ミクロン）ギャップ又はクリアランスにより、例えば、側面のパーツ輪郭から一般にオフセットされた内面を有している次のシェルを含んでいてもよいが、より小さいギャップ（例えば、1ミクロン乃至20ミクロン）へ及びより小さいギャップ（例えば、1ミクロン乃至20ミクロン）により分離されたギャップ又はクリアランスへと延びている又はギャップ又はクリアランスを横切って延びている突起部又は隆起部を有することになり、同一（又は類似）のモデル材から形成されたパーツとサポート構造との間の小点接触を可能にする。点接触は、例えば、次の輪郭シェルの、圧縮され、緊密な接触よって焼結後に中断しやすくてよい。

10

【0070】

任意に、滑らかな母材（例えば、1以上のバインダ成分から形成されたグリーンボディサポート）サポート構造は、モデル材（例えば、金属）パーツとモデル材（例えば、金属）サポート構造との間に印刷され、グリーン及びブラウン状態の間のパーツの形状及び構造的完全性を維持し、取り扱う際の割れ又は破壊の可能性を減少させてよい。

【0071】

図面のいくつかは側面、断面図で示される一方、図10は、上面図で図4の焼結ボディ構造を示し、一方、図11は、説明を目的としてバリエーションを示す。図示されるように、サポートシェル又は他の構造は、サポート構造の部分間に分離又はパーティングライン又は層を有して印刷されてもよい。分離又はパーティングライン又は層は、本明細書中に説明されている任意の分離構造であってもよく、パーツとサポート構造との間に説明されているものを含んでいる。例えば、2以上のパーツ（任意に、多数のパーツ）に分解されるサポートシェルを可能にする分離ライン又は層は、スナップオフ構造を可能にする分離ギャップ（1ミクロン乃至20ミクロン、5ミクロン乃至100ミクロン又は50ミクロン乃至300ミクロン等）及び／又は突起部又はリッジを有して、分離材（例えば、セラミック及びバインダ）から、バインダ材から、モデル材（例えば、金属）から形成されてもよい。例えば、サポート構造又はシェルは、（例えば、図10におけるように）2つに分割するように形成され、サポート構造又はシェルにパーティングラインを作成してもよい。パーティングラインは、任意に、素早い分離を可能にするようにサポートシェル構造を交差させる（例えば、2等分する）平面内に隣接するように印刷される。パーティングラインの多数の平面が、サポートシェル構造を交差させてもよい。

20

【0072】

上述のように、複雑な形態の場合、サポート構造は、パーティングラインを有して印刷され、図11に示すように、より小さい小区分に区分されてもよい（例えば、図11におけるPL1のように、オレンジスライスのように、またさらに、簡単に除去できるように直交軸で区分される）。例えば、サポート構造がパーツのダブテール（dovetail）を充填して印刷される場合、サポート構造は、3つのパーツで形成され得る。例えば、センターパーツが抜き勾配を有しているか長方形のどちらかで、簡便に除去でき、その結果、2つのサイドパーツを内方にスライドした後、除去されるように開放するように、3つのパーツで設計され得る。逆に、パーティングラインは、横方向における以外のいくつかの場合、分離に抵抗するように、連結するように（例えば、図11におけるPL3）、はざまを設けて又は組継ぎ（例えば、図11におけるPL3と類似）として形成されて印刷されてもよい。パーティングラインは、サポートシェルを通ってほぼカットされて（例えば、図11におけるPL2）印刷されてもよい。なお、図11は、突起部P1なしで、すなわち、サポートシェルSHを囲む、垂直方向及び大部分が一枚でできた分離層SL2のみを有して示されている。

30

【0073】

40

50

場合によっては、特に少数のパーティングライン（例えば、2分の1、3分の1、4分の1）の場合、サポート構造は、少なくともそれらがフォームフォロー構造であるため、二次操作（機械加工等）において焼結パーツを保持するために、工作物保持具、例えば、ソフトジョーとして後で利用されるために保存されてもよい。例えば、サポート構造が一般に球状のパーツを支持するための、工作物保持ジョー又はソフトジョーとして後で利用されるのに適切なサポート構造であった場合、構造は、パーツを全ての面から留めておくべきであり、そのため、球の中心又は中間点を過ぎて延びるべきである。重力に対して焼結及び支持するため、サポート構造は、中間点（又はわずかに前）を過ぎて延びる必要はないが、検査及び後処理のためのその後の工作物保持のため、サポート構造は、中間点（例えば、パーツの高さの2/3まで、場合によっては、パーツに張り出す）を過ぎて延び、例えば、万力におけるポジティブグリップを可能にする。

【0074】

さらに、万力（又は他のホルダ）において工作物保持具又はソフトジョーを保持するためのアタッチメント機能が、後処理のためにサポート構造に追加されてもよい。例えば、万力又はダブルテール等に取り付けるための貫通穴である。

【0075】

代わりに又は加えて、セラミックサポートは、多数の3D印刷パーツの焼結ステップのための再利用可能なサポートの機能を果たすために印刷され、焼結されてもよい。この場合、再利用可能なサポートの上向きの対向面は、支持されるパーツの一一致又は対向する表面と同じ高さまで収縮するように印刷されてもよい。

【0076】

本明細書中に説明されているように、パーツ及び／又は焼結サポートを形成するための供給原料材料は、約50%乃至70%（好ましくは約60%乃至65%）の体積分率の二次母材材料、例えば、直径サイズが10ミクロン乃至50ミクロンの（セラミック又は金属の）実質的に球状のビーズ又は粉末、約20%乃至30%（好ましくは約25%）の体積分率の可溶性又は触媒可能バインダ、（好ましくは室温において固体）、約5%乃至10%（好ましくは約7%乃至9%）の体積分率の熱分解可能なバインダ又は一次母材材料、（好ましくは室温において固体）同様に、約0.1%乃至1.5%（好ましくは約5%乃至10%）の体積分率の炭素纖維ストランド、各纖維ストランドは焼結温度以下で炭素と反応しない金属（例えば、ニッケル、ホウ化チタン）で塗装されている、を含んでいてもよい。本明細書中に説明されているように、「一次母材」は、ポリマーバインダであり、3Dプリンタにより堆積され、「二次母材」ビーズ又は球及び纖維フィラーを保持し、焼結に続いて、ビーズ又は球の（セラミック又は金属）材料は、母材となり、纖維フィラーを保持する。

【0077】

代わりに、パーツ及び／又は焼結サポートを形成するための供給原料材料は、約50%乃至70%（好ましくは約60%乃至65%）の体積分率の二次母材材料、例えば、直径サイズが10ミクロン乃至50ミクロンの（セラミック又は金属）の実質的に球状のビーズ又は粉末、約20%乃至30%（好ましくは約25%）の体積分率の可溶性又は触媒可能バインダ、（好ましくは室温において固体）、約5%乃至10%（好ましくは約7%乃至9%）の体積分率の熱分解可能なバインダ又は二次母材材料、約1/10乃至1/200の弾性率の（セラミック又は金属）の二次母材材料、及び二次、（金属又はセラミック）母材材料の約2倍乃至10倍の弾性率の材料の約0.1%乃至1.5%（好ましくは約5%乃至10%）の体積分率の粒子又は纖維フィラーを含んでいてもよい。本明細書中に説明されているように、「一次母材」は、ポリマーバインダであり、3Dプリンタにより堆積され、「二次母材」ビーズ又は球及び纖維フィラーを保持し、焼結に続いて、ビーズ又は球の（セラミック又は金属）材料は、母材となり、纖維フィラーの粒子を保持する。

【0078】

弾性率の比較が以下の表で見付けられてもよく、弾性率1GPa乃至5GPaのポリマー／バインダ一次母材を有する。

10

20

30

40

50

二次母材	弾性率 ($10^9 N/m^2$, GPa)	充填	弾性率 ($10^9 N/m^2$, GPa)
鋼鉄	180-200	炭素繊維	200-600
アルミニウム	69	グラファイト繊維	200-600
銅	117	窒化ホウ素	100-400
チタニウム	110	炭化ホウ素	450
アルミナ	215	炭化ケイ素	450
コバルト	209	アルミナ	215
青銅	96-120	ダイヤモンド	1220
		炭化タンクス	450-650
		グラフェン	1000
		カーボンナノチューブ	1000+

【0079】

球、ビーズ又は粉末（例えば、微粒子）は、サイズに範囲があってもよい。バインダは、分散剤、安定剤、可塑剤及び／又は分子間潤滑油添加剤を含んでいてもよい。バインダ又はポリマー一次母材内に3Dプリンタにより堆積されてもよいいくつかの候補の二次母材充填材の組合せには、炭化タンクス被覆グラファイト（炭素）繊維を有しているコバルト又は青銅ビーズ；グラファイト（炭素）繊維を有しているアルミニウムビーズ；窒化ホウ素繊維を有している鋼鉄ビーズ；炭化ホウ素繊維を有しているアルミニウムビーズ；ニッケル被覆炭素繊維を有しているアルミニウムビーズ；炭素繊維を有しているアルミニナビーズ；炭化ケイ素繊維を有しているチタニウムビーズ；酸化アルミニウム粒子（及び炭素繊維）を有している銅ビーズ；ダイヤモンド粒子を有している銅・銀合金ビーズが含まれる。CFF特許出願の技術を介して印刷されてもよいそれらの繊維は、また、連続繊維として埋め込まれてもよい。粒子又は繊維に対する炭素フォームには、カーボンナノチューブ、カーボンブラック、炭素短／中／長繊維、片状黒鉛、プレートレット、グラフェン、カーボンオニオン、アストラレン等が含まれる。

【0080】

いくつかの可溶性・熱分解可能なバインダの組合せには、ポリエチレングリコール（PEG）及びポリメチルメタクリレート（PMMA）（任意のステアリン酸、任意のエマルジョンフォームにおけるPMMA）；ステアタイト及び／又はポリエチレン（PE）と混合されたワックス（カルナバ、蜜蠟、パラフィン）；PEG、ポリビニルブチラール（PVB）及びステアリン酸が含まれる。

【0081】

いくつかの熱分解可能な二段バインダには、ポリオレフィン樹脂ポリプロピレン（PP）、高密度ポリエチレン（HDPE）；直鎖状低密度ポリエチレン（LLDPE）及びポリオキシメチレン共重合体（POM）が含まれる。上述の通り、熱デバインドにおいて、バインダを含有しているパーティは、制御された雰囲気下で任意の速度で加熱される。オープンから出るガスにより吹き飛ばされる小分子における熱割れにより、バインダは分解する。溶媒デバインドにおいて、バインダを含有しているパーティは、適切な溶媒、例えば、アセトン又はヘプタンにバインダを溶解することに影響を受ける。触媒デバインドにおいて、パーティは、流されうる、バインダの割れを促進させるガス状触媒を内包している雰囲気と接触させられる。

【0082】

従って、本開示は、材料を堆積させる方法及び付加製造用装置を説明する。装置は、バインダ母材及び第1焼結温度を有している焼結可能な球状及び／又は粉末の第1材料を含んでいる第1フィラメントを材料供給パスに沿って供給し、バインダ母材及び第1焼結温

10

20

30

40

50

度より高い第2焼結温度（任意に、例えば、500より高い）を有している焼結可能な球状及び／又は粉末の第2材料を含んでいる第2フィラメントを供給する。装置は、ビルドプレート又は第1又は第2材料の事前の堆積上への堆積により第2材料の層を及び第2材料の事前の堆積上への堆積により第1材料の層を形成する。装置（装置の追加のステーションを含んでいる）は、第1材料及び第2材料の各々からバインダ母材の少なくとも一部をデバインドする。装置（装置の追加のステーションを含んでいる）は、続いて、第1及び第2材料からそのように形成されたパーツを第1焼結温度まで加熱し、その結果、第1材料を焼結させ、第2材料を分解する。バインダ及びセラミック又は金属焼結材料を含んでいる3D印刷モデル材を使用して焼結可能なパーツを印刷する際、剥離層は、サポート構造とパーツとの間に介在し、サポート構造及びパーツの各々は、モデル材又は複合物から形成される。剥離層は、球状又は粉末のより高い溶融温度材料、例えば、セラミック又は高温金属を含んでおり、任意に類似（一次）母材又はバインダ成分で堆積されモデル材となる。焼結後、剥離層は、ゆるめ粉末となって、サポートが容易に除去されることを可能にしてもよい。

【0083】

本開示において、「3Dプリンタ」は、より大きな工程内の付加製造サブ工程を実行する、個別のプリンタ及び／又は製造機械へのツールヘッドアクセサリの両方を含んでいる。3Dプリンタは、専用のGコードを解釈し、Gコードに従って3Dプリンタの様々なアクチュエータを駆動するモーション制御部20により制御される。

【0084】

「充填材」は、押出物、流体又は粉末材料としての実質的に均質なフォームで堆積されてもよい材料を含んでおり、例えば、固化、結晶化又は硬化により固化される。「実質的に均質」には、粉末、流体、ブレンド、分散、コロイド、懸濁液及び混合体が含まれる。

【0085】

「3Dプリンタ」の意味は、より大きな工程内の付加製造サブ工程を実行する、個別のプリンタ及び／又は製造機械へのツールヘッドアクセサリを含んでいる。3Dプリンタは、専用のGコード（ツールパス指示）を解釈し、Gコードに従って3Dプリンタの様々なアクチュエータを駆動するモーション制御部20により制御される。

【0086】

「堆積ヘッド」は、ジェットノズル、スプレーノズル、押出ノズル、導管ノズル及び／又はハイブリッドノズルを含んでいてもよい。

【0087】

「フィラメント」は、一般に、（例えば、スプールされた）構築材料の全体断面領域を参照してもよい。

10

20

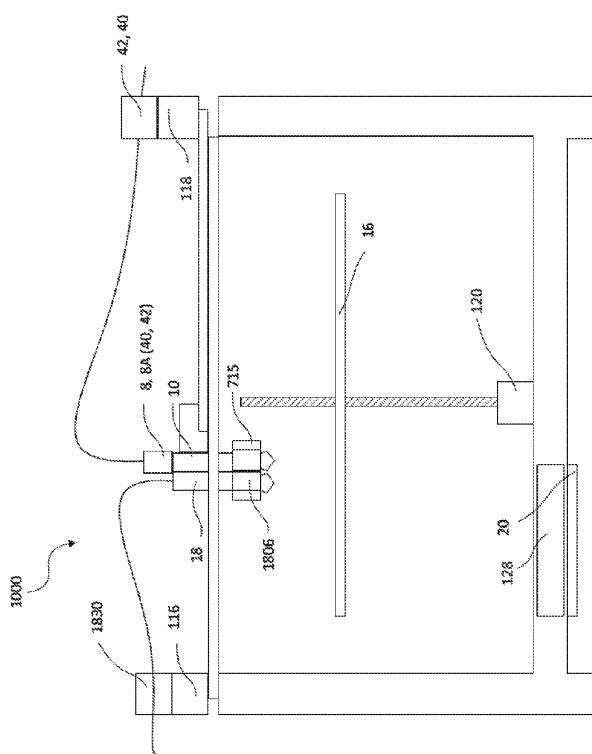
30

40

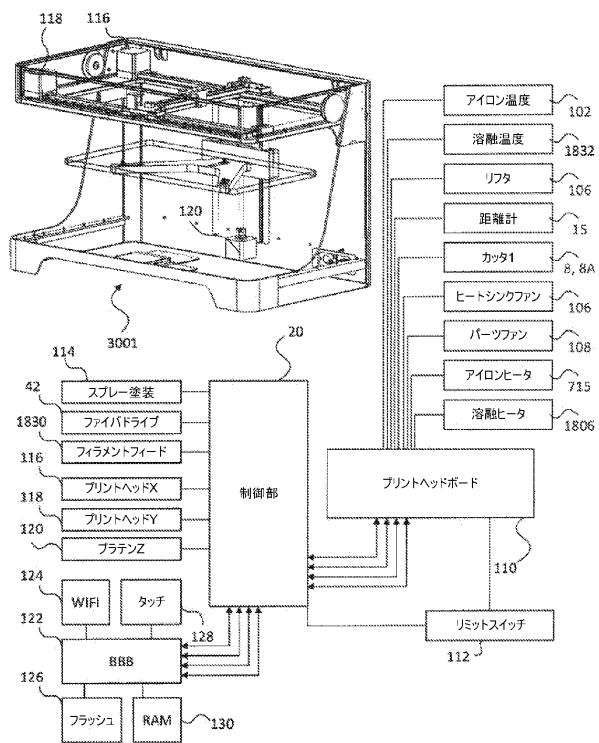
50

【四面】

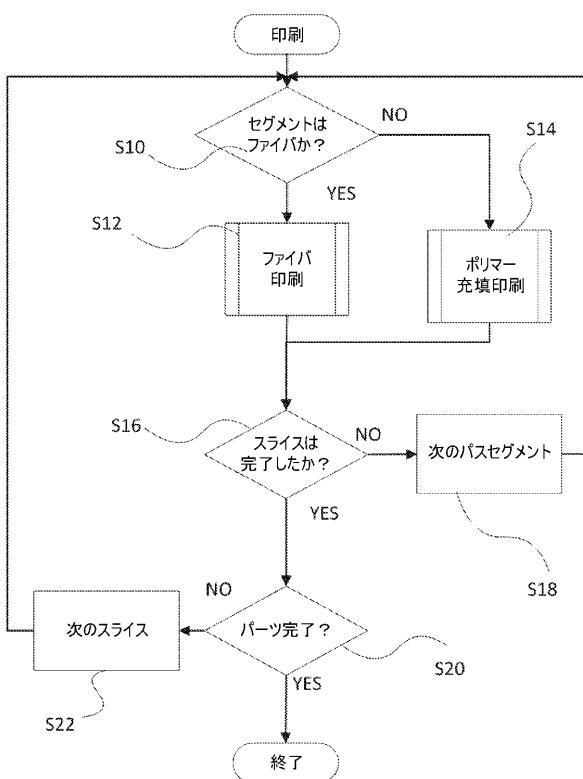
【 四 1 】



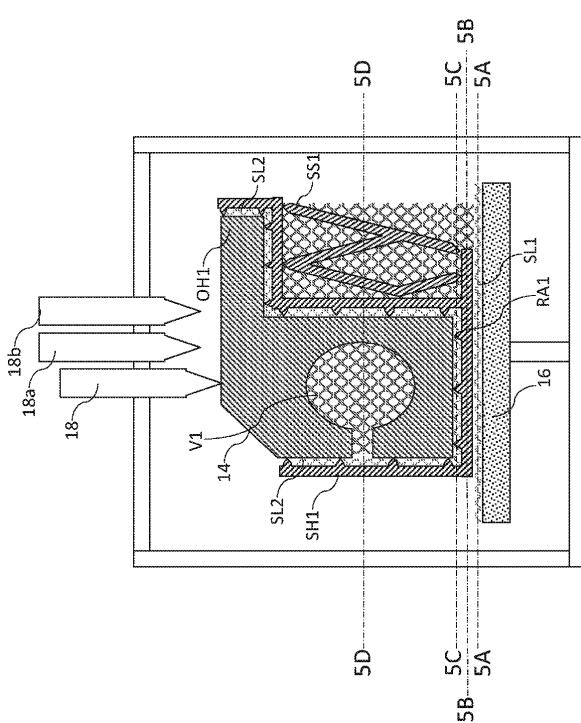
【 図 2 】



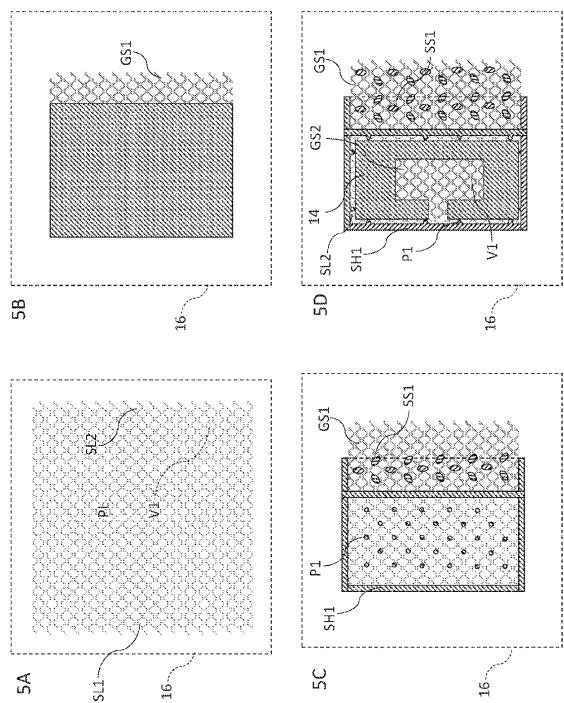
【 义 3 】



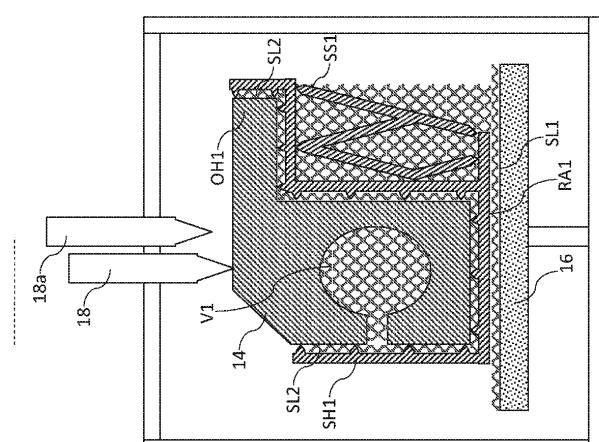
〔 4 〕



【図 5】



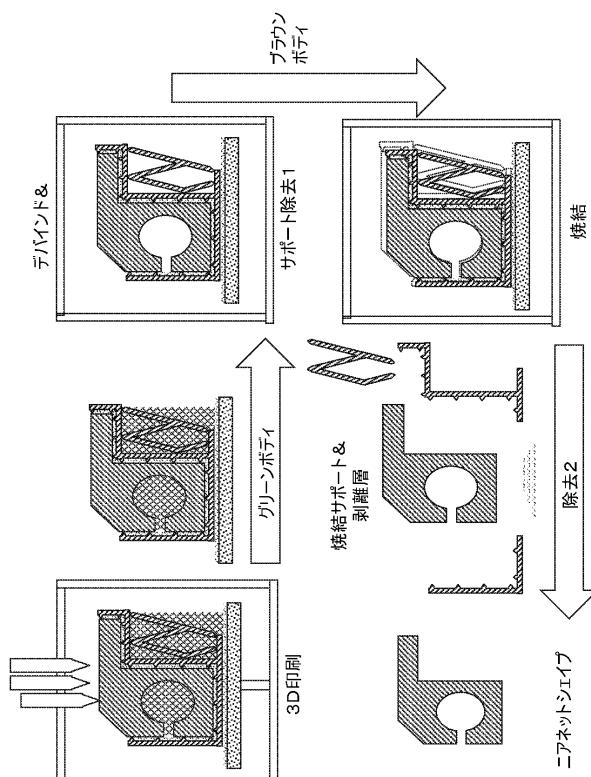
【図 6】



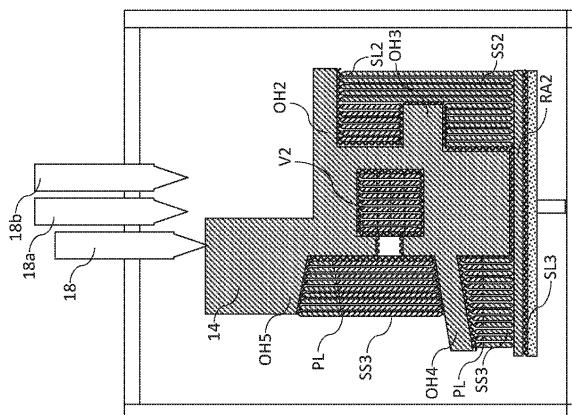
10

20

【図 7】



【図 8】

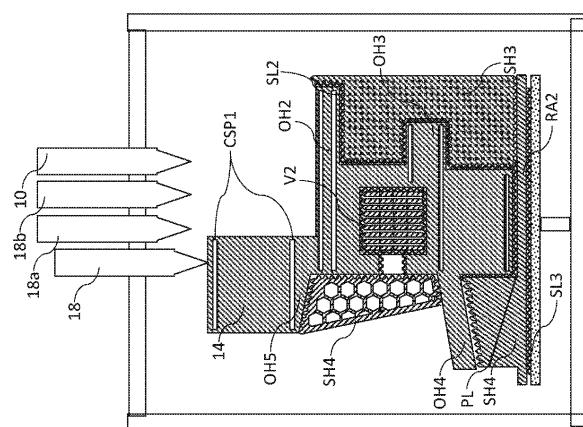


30

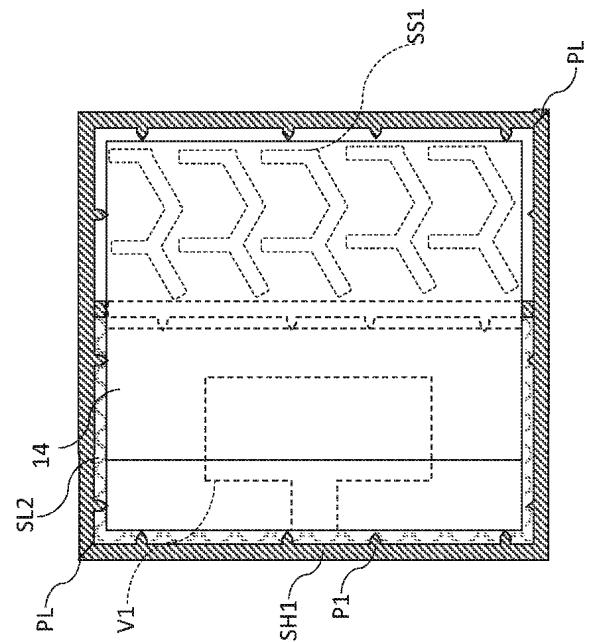
40

50

【図9】



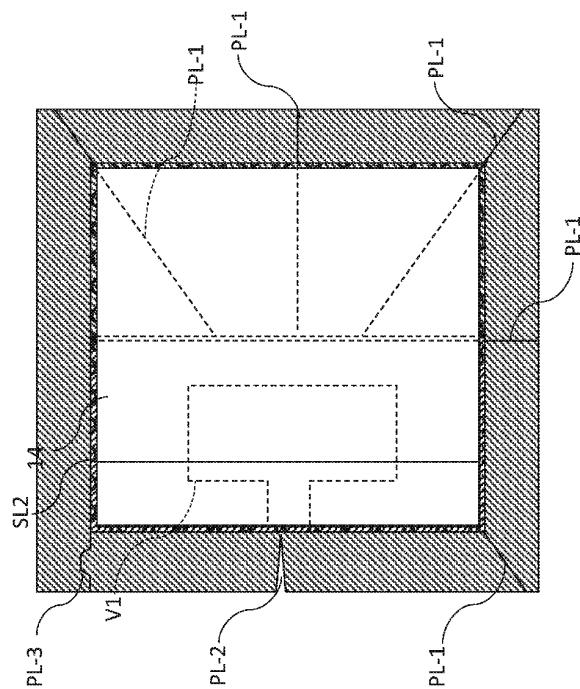
【図10】



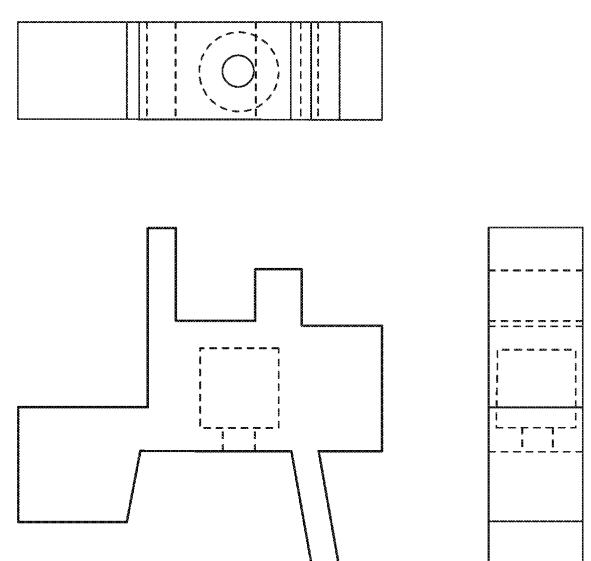
10

20

【図11】



【図12】

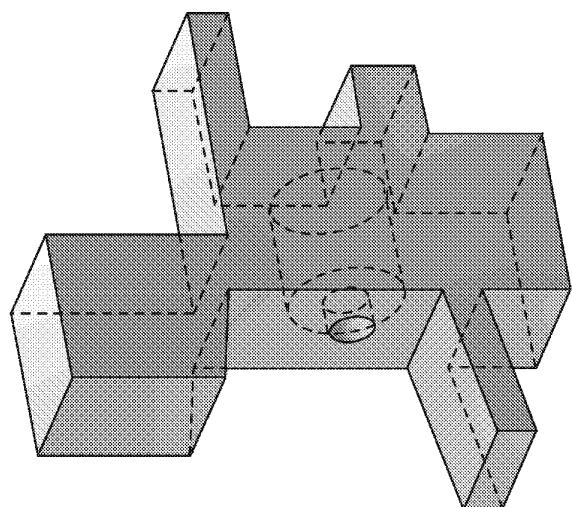


30

40

50

【図 1 3】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(33) 優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(31) 優先権主張番号 62/429,711

(32) 優先日 平成28年12月2日(2016.12.2)

(33) 優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(31) 優先権主張番号 62/519,138

(32) 優先日 平成29年6月13日(2017.6.13)

(33) 優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(31) 優先権主張番号 62/430,902

(32) 優先日 平成28年12月6日(2016.12.6)

(33) 優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(31) 優先権主張番号 62/480,331

(32) 優先日 平成29年3月31日(2017.3.31)

(33) 優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(31) 優先権主張番号 62/442,395

(32) 優先日 平成29年1月4日(2017.1.4)

(33) 優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(56) 参考文献 国際公開第2017/180314 (WO, A1)

(58) 調査した分野 (Int.Cl., DB名)

B22F 10/00

B22F 12/00

B22F 3/00

B33Y 10/00

B33Y 70/00