

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7688014号
(P7688014)

(45)発行日 令和7年6月3日(2025.6.3)

(24)登録日 令和7年5月26日(2025.5.26)

(51)国際特許分類	F I	
B 2 2 F 10/85 (2021.01)	B 2 2 F	10/85
B 2 9 C 64/209 (2017.01)	B 2 9 C	64/209
B 2 9 C 64/227 (2017.01)	B 2 9 C	64/227
B 2 9 C 64/386 (2017.01)	B 2 9 C	64/386
B 3 3 Y 10/00 (2015.01)	B 3 3 Y	10/00
請求項の数 38 (全34頁) 最終頁に続く		

(21)出願番号	特願2022-506176(P2022-506176)	(73)特許権者	590003283 コモンウェルス サイエнтиフィック アンド インダストリアル リサーチ オ ーガナイゼーション オーストラリア 2 6 0 1 オーストラリア ン・キャピタル・テリトリー、アクトン 、クルーニーズ・ロス・ストリート
(86)(22)出願日	令和2年7月30日(2020.7.30)	(74)代理人	100101454 弁理士 山田 卓二
(65)公表番号	特表2022-542974(P2022-542974 A)	(74)代理人	100122297 弁理士 西下 正石
(43)公表日	令和4年10月7日(2022.10.7)	(72)発明者	キング, ピーター オーストラリア 3 1 6 9 ビクトリア州ク レイトン・サウス、プライベート・バッ グ 1 0
(86)国際出願番号	PCT/AU2020/050778		
(87)国際公開番号	WO2021/016666		
(87)国際公開日	令和3年2月4日(2021.2.4)		
審査請求日	令和5年7月28日(2023.7.28)		
(31)優先権主張番号	2019902709		
(32)優先日	令和1年7月30日(2019.7.30)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	オーストラリア(AU)		
最終頁に続く			

(54)【発明の名称】 印刷ツールを制御するためのツールパスを決定する方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

印刷ツールを制御するためのツールパスを決定する方法であって、前記方法は、
 a) 形成される3次元構造を示すデータを含む入力ファイルを受け取り、
 b) 3次元構造を複数の構築層に分割し、構築層は構築方向に分離され、各構築層は構築方向に対して横方向に延び、各構築層は、構築層と3次元構造の外面との交差を定義する外部輪郭を含み、
 c) 3次元構造を埋めるツールパスを定義し、少なくとも2つの隣接する層について、このツールパスは、連続した交差しないツールパスを使用して、少なくとも1つのより低い構築層を完全に埋める前に、構築方向に沿って1つ以上のより高い構築層を部分的に埋めることを含み、
 d) 印刷ツールを制御してツールパスに沿って移動して3次元構造を形成するための一連の制御コマンドを含む印刷ツール制御アルゴリズムを生成する。

【請求項 2】

前記ステップ c) は、
 c) i) 各構築層を1つ以上の層領域に分割し、
 c) i i) 第1の事前定義された充填戦略に基づいて、第1の層領域を完全に埋める第1のツールパスセクションを決定し、
 c) i i i) 第2の事前定義された充填戦略に基づいて、同じ層または隣接する層のいずれかで前記第1の層領域に隣接する第2の層領域を完全に埋める第2のツールパスセク

ションを決定し、前記第 1 の層領域内のツールパスセクションは、前記第 2 のツールパスセクションの対応する開始点に直接隣接し、

c) iv) ツールパスセクションの開始点を隣接する層または層領域の前のツールパスセクションの対応するツールパスセクションの終了点と一致させて、すべての層領域に対して前記ステップ c) ii) およびステップ c) iii) を繰り返し、単一のツールパスを定義する、

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記ステップ c) iv) が、隣接するパーティションの開始点と終了点との間の前記 3 次元構造の外部輪郭の周りに延びる輪郭ループパスを定義する、

10

請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記ステップ c) は、

c) i) 前記 3 次元構造または構築プロセスの要素に基づいて、各構造層を複数の層領域に分割し、

c) ii) 各層領域について、層領域内の開始点と終了点を含む、複数の可能な充填パスオプションを決定し、

c) iii) 前記 3 次元構造内の他の要素の上または下に部分的または全体的に存在する特徴に基づいて、各要素の優先度グラフを決定し、

c) iv) 各機能が 1 回だけ実行されるように、優先度グラフで決定された優先順位関係に従うツールパスでの実行順序を決定し、シーケンス内の現在の特徴の終了点は、次の特徴の開始点に隣接している、

20

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記要素が、他の領域の前に充填される必要がある構造のサブ領域を含む、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記要素が、充填セクション間の接続パスを含む、請求項 4 または請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記要素が、構造的特徴の周りをループするループパスを含む、請求項 4 から 6 のいずれか一項に記載の方法。

30

【請求項 8】

充填パスオプションが充填戦略を含む、請求項 4 から 7 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 9】

3 次元構造を形成するために付加造形プロセスを実行するように印刷ツールが制御される、

請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 10】

3 次元構造がより大きな 3 次元物体の一部を形成する、請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の方法。

40

【請求項 11】

印刷ツールへの印刷材料の流れが印刷プロセス全体にわたって維持されるように、ツールパスが連続的である、

請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 12】

3 次元構造を構築するための 1 つまたは複数の構築パラメータを、ユーザからユーザインターフェースを介して受信する a) i) のステップを含む、

請求項 1 から 11 のいずれか一項に記載の方法。

50

【請求項 13】

構築パラメータが充填戦略を含む、
請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

充填戦略が、層 $n + 1$ のツールパスセクションが、隣接する層 n の隣接する層領域のツールパスセクションの直接の逆である二重層戦略を含む、
請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

充填戦略が、外層領域点で始まり、中央層領域点で終わるらせん状の充填パターンを含む、
請求項 14 に記載の方法。

10

【請求項 16】

隣接する層の充填戦略が、中心点で始まり外側点で終わる逆スパイラルパターンを含む、
請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

充填戦略がラスタパターン充填戦略を含む、
請求項 13 に記載の方法。

【請求項 18】

第 1 および第 2 の充填戦略が同じである、
請求項 1 ないし請求項 17 のいずれか一項に記載の方法。

20

【請求項 19】

3次元構造を複数のサブ領域に分割することは、構築層を定義する前に3次元構造を1つまたは複数の体積構造に分割することを含む、
請求項 1 ないし 18 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 20】

構築層が平面を含む、
請求項 1 ないし 19 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 21】

構築層が曲面を含む、
請求項 1 から 20 のいずれか一項に記載の方法。

30

【請求項 22】

3次元構造を形成するための印刷時間を最適化するようにツールパスが定義される、
請求項 1 ないし 21 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 23】

3次元構造の形成中にツールパスに沿って印刷ツールジャンプの数を最小限に抑えるようにツールパスが定義される、
請求項 1 から 22 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 24】

ツールパスが、ツールパスに沿ったパス交差の数を最小化するように定義される、
請求項 1 ないし 23 のいずれか一項に記載の方法。

40

【請求項 25】

3次元構造を形成するために使用される印刷材料の量を最小化するようにツールパスが定義される、
請求項 1 ないし 24 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 26】

ツールパスが、ツールパスに沿った印刷ツールターンの数および程度を最適化するように定義される、
請求項 1 ないし 25 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 27】

3次元構造の全体的な構築の強度を高めるために、いくつかの層の交差を最適化するよう

50

にツールパスが定義される、

請求項 1 ないし 2 6 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 2 8】

付加造形プロセスで印刷ツールを制御する方法であって、前記方法は、

コンピュータプロセッサによって、請求項 1 ないし 2 7 のいずれか 1 つに記載の方法によ

って生成された印刷ツール制御アルゴリズムを実行し、

印刷ツール制御アルゴリズムにตอบสนองして、事前定義された 3 次元構造を形成するためにツ

ールパスに沿って移動するように印刷ツールを制御するための電気信号を生成する。

【請求項 2 9】

印刷ツール制御アルゴリズムが、異なる構築層または層領域にわたって 1 つまたは複数の

10

構築パラメータを変更するための命令を含む、

請求項 2 8 に記載の方法。

【請求項 3 0】

印刷ツールの行間隔が 1 つまたは複数の層領域間で変化する、

請求項 2 9 に記載の方法。

【請求項 3 1】

印刷ツールの動きが 1 つまたは複数の層領域間で変化する、

請求項 2 9 または請求項 3 0 に記載の方法。

【請求項 3 2】

充填戦略が 1 つまたは複数の層領域間で変化する、

20

請求項 2 9 ないし 3 1 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 3 3】

印刷ツールが少なくとも 1 つのロボットアームを含む、

請求項 1 ないし 3 2 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 3 4】

印刷ツールが、ロボットアームによって作動位置に保持されるコールドスプレーガンを

含む、

請求項 1 ないし 3 3 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 3 5】

印刷ツールを制御するためのツールパスを決定するコンピュータシステムであって、前記

30

コンピュータシステムは、

プロセッサと、

前記プロセッサによって実施されると、前記プロセッサに以下のことをさせる命令を保存

するメモリと、を備え、

前記命令は、前記プロセッサに、

請求項 1 から 3 4 のいずれか一項に記載の方法による手順を実施させる、

コンピュータシステム。

【請求項 3 6】

プロセッサと、前記プロセッサによって実行されると、前記プロセッサに以下のことをさ

40

せる命令を保存するメモリと、を備え、印刷ツールを制御するためのツールパスを決定す

るコンピュータシステムにより、読み取りが可能なプログラム・コードを有する非一過性

のコンピュータ可読記憶媒体であって、前記コンピュータ読み取り可能なプログラム・コ

50

ードは、前記プロセッサによって実行されると、
請求項 1 から 3 4 のいずれか一項に記載の方法による手順を実施させる、
コンピュータ可読記憶媒体。

【請求項 3 8】

プロセッサと、

前記プロセッサによって実施されると、前記プロセッサに、請求項 1 から 2 7 のいずれか
一項に記載の方法による手順を実施させる命令を保存するメモリと、

前記命令に基づいて前記プロセッサによって生成された電気信号に应答する印刷ツールで
あって、ツールパスに沿って移動し、事前定義された 3 次元構造を形成する印刷ツールと
を備える、

10

付加造形システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、付加造形、特に付加造形プロセスで印刷ツールを制御するためのツールパスを決定し、続いてそのツールパスに基づいて付加造形プロセスで印刷ツールを制御する方法に関する。

【0002】

いくつかの実施形態は、その用途を特に参照して本明細書で説明されるが、本発明は、そのような使用分野に限定されず、より広い文脈で適用可能であることが理解されよう。

20

【背景技術】

【0003】

付加造形（「3D印刷」とも呼ばれる）プロセスでは、印刷メカニズム（「ツール」と呼ばれる）は、3D空間で事前定義されたパス（「ツールパス」と呼ばれる）をたどるようにコンピュータ制御され、印刷材料から目的のオブジェクトを作成する。

【0004】

通常、3D印刷のパス計画プロセスには、（a）印刷ヘッドが移動するとき材料がパーツに追加される間の印刷ヘッドの動きと、（b）材料を堆積させない動きの組み合わせが含まれる。後者は、スキップまたはジャンプ動作と呼ばれる場合がある。たとえば、ポリマー3D印刷プロセスでは、ジャンプ動作中に押出機モーターがオフになる。

30

【0005】

一部の付加造形プロセスでは、材料の堆積プロセスを何らかの形で妨げるため、材料の供給をすばやくオン/オフすることが困難または不可能である。これらのプロセスでは、より適切なツールパス戦略は、可能な限り多くの構築（ビルド）でフィードが維持される戦略である。

【0006】

3D印刷は、従来、レイヤーごとの構築プロセスを伴う。このプロセスでは、レイヤー n のすべてのツールパスが完了してから、次のレイヤー $n + 1$ に進む。この点で、3D印刷用のGコードを生成するための既存の3D印刷ソフトウェアは、3D問題を2D問題に減らすことにより、計算効率を達成する。これを行うには、最初にオブジェクトをスライスする。つまり、STLファイルで規則的な間隔の平面と三角形の交点を見つけ、各レイヤーに塗りつぶす2D領域を定義し、この2D領域で、一度に1つのレイヤーでツールパス計画を実行する。

40

【0007】

ただし、このレイヤーごとのアプローチは、3軸付加造形システム、特に1つまたは2つの6軸ロボットアームを含むより高度なシステムでは非効率的であり、より高度な3次元造形を実行できる可能性がある。2つのロボットアーム（一方は部品を保持し、もう一方は堆積ヘッドを保持する）のシステムでは、回転運動も実行できるため、最大12自由度が可能である。厳格なレイヤーごとのパス計画アプローチは、この自由を利用していない。

50

【 0 0 0 8 】

ペアノ曲線やヒルベルト曲線などのフラクタル空間充填曲線など、いくつかのより高度なツールパスが考案されている。ただし、これらのパスは本質的に、特定の長さのパスに対して多数のターンを伴う。重い部品や堆積ヘッドを高速で操作する場合、かなりの減速/加速が必要となる大規模なロボットアプリケーションでは、回転数が多すぎる可能性がある。ツールパスに多数の方向変更が含まれていると、ロボットは過度の振動と摩耗を受け、また、ロボットアームに加速して一定速度に達するのに十分なパス長がない場合、高速移動はできない。

【 0 0 0 9 】

上記の欠陥のいくつかに部分的に対処するために、ミシェル等、「ワイヤー+アーク付加造形のためのモジュラーパス計画ソリューション」、ロボット工学およびコンピュータ統合製造、ボリューム60、2019年12月、ページ1-11 (Michel et al. "A modular path planning solution for Wire + Arc Additive Manufacturing", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing Volume 60, December 2019, Pages 1-11) は、各セグメント内で異なるパス計画戦略を使用して、個々のオブジェクトレイヤーのパーティション化(セグメンテーション)を使用した。彼らはこれを「モジュラーパスプランニング(MPP)」と呼んでいる。MPPプロセスでは、すべてのセグメントに対してパスが生成されると、それらは単一のレイヤーパスに結合される。ただし、堆積は層全体に沿って連続的ではない。代わりに、セクションの終わりに達すると、堆積が停止され、トーチはアークをオフにして材料を供給せずに次のセクションの開始点に移動する。したがって、この手法には、ツールの複数の非アクティブ化が含まれる。

【 0 0 1 0 】

ドゥーディ、ラジーヴ&コバセビック、ラドヴァン(2004)「溶接に基づくソリッドフリーフォーム製造のためのポリゴン細分割を使用した自動トーチパス計画」、ジャーナル・オブ・マニユファクチャリング・システム、23(4)、278-291ページ(Dwivedi, Rajeev & Kovacevic, Radovan (2004) "Automated torch path planning using polygon subdivision for solid freeform fabrication based on welding", Journal of Manufacturing Systems, 23(4), p278-291) では、溶接付加造形プロセスに単調多角形細分割を使用した連続パス計画を使用した。ただし、この手法では、3D構造内の他のレイヤーに連続パスを拡張することについては言及していない。したがって、この手法は、レイヤーごとのアプローチに従う可能性がある。

【 0 0 1 1 】

フロアーズ・J等の、「レーザー金属蒸着技術による金属部品の製造のためのツールパス生成」、インターナショナル・ジャーナル・オブ・アドバンスド・マニユファクチャリング・テクノロジー、2019年、Vol. 101、5-8号、2111-2120ページ(Flores, J. et al, "Toolpath generation for the manufacture of metallic components by means of the laser metal deposition technique", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019, Vol. 101, Issue 5-8, pp 2111 - 2120) では、輪郭線とジグザグの塗りつぶしパターンを組み合わせ、各構築層(ビルドレイヤー、build layer)に一定のオーバーラップを伴う均一な成長を提供する、最適化されたハイブリッドツールパス戦略を教えている。フロアーズ等は、また、オーバーハング機能をより正確に形成するために印刷ヘッドを傾けるための多軸戦略についても説明する。これにより、湾曲した層が堆積する。

【 先行技術文献 】

【 非特許文献 】

【 0 0 1 2 】

【文献】ミシェル等、「ワイヤー+アーク付加造形のためのモジュラーパス計画ソリューション」、ロボット工学およびコンピュータ統合製造、ボリューム60、2019年12月、ページ1-11 (Michel et al., "A modular path planning solution for Wire + Arc Additive Manufacturing", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing

Volume 60, December 2019, Pages 1-11)

【文献】ドゥーディ、ラジーヴ&コバセビク、ラドヴァン(2004)「溶接に基づくソリッドフリーフォーム製造のためのポリゴン細分割を使用した自動トーチパス計画」、ジャーナル・オブ・マニュファクチャリング・システム、23(4)、278-291ページ(Dwivedi, Rajeev & Kovacevic, Radovan (2004), "Automated torch path planning using polygon subdivision for solid freeform fabrication based on welding", Journal of Manufacturing Systems, 23(4), p278-291)

【文献】フロアーズ・J等の、「レーザー金属蒸着技術による金属部品の製造のためのツールパス生成」、インターナショナル・ジャーナル・オブ・アドバンスド・マニュファクチャリング・テクノロジー、2019年、Vol. 101、5-8号、2111-2120ページ(Flores, J. et al, "Toolpath generation for the manufacture of metallic components by means of the laser metal deposition technique", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019, Vol. 101, Issue 5-8, pp 2111 - 2120)

【0013】

しかしながら、上記の各技術では、ツールパスの堆積は、次の層が開始される前に層(平面または湾曲)が完全に堆積されなければならない層ごとのアプローチで計画される。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の一態様は、印刷ツールを制御するためのツールパスを決定する方法を提供し、この方法は、

- a) 形成される3次元構造を示すデータを含む入力ファイルを受け取るステップと、
- b) 3次元構造を複数の構築層に分割するステップであって、ここで、構築層は構築方向に分離され、各構築層は構築方向に対して横方向に伸び、各構築層は、前記構築層と前記3次元構造の外面との交差を定義する外部輪郭を含むステップと、
- c) 前記3次元構造を埋めるツールパスを定義するステップであって、前記ツールパスは、少なくとも1つのより低い構築層を完全に埋める前に、前記構築方向に沿って1つ以上のより高い構築層を部分的に埋めることを含むステップと、
- d) 前記印刷ツールを制御して前記ツールパスに沿って移動して、前記3次元構造を形成するための一連の制御コマンドを含む印刷ツール制御アルゴリズムを生成するステップと、を含む。

【0015】

いくつかの実施形態では、前記ステップc)は、

- c) i) 各構築層を1つ以上の層領域に分割するステップと、
- c) ii) 第1の事前定義された充填戦略に基づいて、第1の層領域を完全に埋める第1のツールパスセクションを決定するステップと、
- c) iii) 第2の事前定義された充填戦略に基づいて、同じ層または隣接する層のいずれかで第1の層領域に隣接する第2の層領域を完全に埋める第2のツールパスセクションを決定するステップであって、前記第1の層領域内の前記第1のツールパスセクションの終了点は、前記第2のツールパスセクションの対応する開始点に直接隣接しており、
- c) iv) ツールパスセクションの開始点を、隣接する層または層領域の以前のツールパスセクションに対応するツールパスセクションの終了点と一致させて、すべての層領域に対して、前記ステップc) ii) およびc) iii) を繰り返し、単一のツールパスを定義するステップと、

を含む。

【0016】

いくつかの実施形態では、前記ステップc) iv) は、隣接するパーティションの開始点と終了点との間の構造の外部輪郭の周りに延びる輪郭ループパスを定義することを含む。

【0017】

他の実施形態では、前記ステップ c) は

c) i) 前記構造または構築プロセスの特徴に基づいて、各構築層を複数の層領域に分割するステップと、

c) ii) 各層領域について、層領域内の開始点と終了点を含む、複数の可能な充填パスオプションを決定するステップと、

c) iii) 前記構造内の他の特徴の上または下に部分的または全体的に存在する特徴に基づいて、各特徴の優先度グラフを決定するステップと、

c) iv) 各機能が1回だけ実行されるように、前記優先度グラフで決定された優先順位関係に従うツールパスでの実行順序を決定するステップと、を含み、

シーケンス内の現在の特徴の終了点は、次の特徴の開始点に隣接している。

10

【0018】

いくつかの実施形態では、前記特徴は、他の領域の前に埋められる必要がある構造のサブエリアを含む。いくつかの実施形態では、前記特徴は、充填セクション間の接続パスを含む。いくつかの実施形態では、前記特徴は、構造的特徴の周りをループするループパスを含む。いくつかの実施形態では、前記充填パスオプションは、充填戦略を含む。

【0019】

いくつかの実施形態では、印刷ツールは、付加造形プロセスを実行して3次元構造を形成するように制御される。いくつかの実施形態では、3次元構造は、より大きな3次元オブジェクトの一部を形成する。

【0020】

いくつかの実施形態では、ツールパスは、印刷ツールへの印刷材料の流れが印刷プロセス全体を通して維持されるように連続的である。

20

【0021】

いくつかの実施形態では、この方法は、a) i) ユーザインターフェースを介してユーザから、3次元構造を構築するための1つまたは複数の構築パラメータを受信する。いくつかの実施形態では、前記構築パラメータは、充填戦略を含む。いくつかの実施形態では、前記充填戦略は、層 $n + 1$ のツールパスセクションが、隣接する層 n の隣接する層領域のツールパスセクションの直接の逆である二重層戦略を含む。いくつかの実施形態では、充填戦略は、外層領域点で始まり、中央層領域点で終わるらせん状の充填パターンを含む。これらの実施形態では、隣接する層の充填戦略は、中心点で始まり、外側点で終わる逆スパイラルパターンを含む。いくつかの実施形態では、前記充填戦略は、ラスタパターン充填戦略を含む。前記第1と第2の充填戦略は同じでも異なっても構わない。

30

【0022】

いくつかの実施形態では、前記3次元構造を複数のサブ領域に分割することは、前記構築層を定義する前に、前記3次元構造を1つまたは複数のボリューム構造に分割することを含む。前記構築層は、平面、曲面、または他の形状を含み得る。

【0023】

本発明の第2の態様は、印刷ツールを制御するためのツールパスを決定する方法を提供し、この方法は、

a) 形成される3次元構造を示すデータを含む入力ファイルを受け取るステップと、

40

b) 前記3次元構造を複数のサブ領域に分割し、前記サブ領域は複数の構築層を含み、各構築層は、前記構築層と前記3次元構造の外面との交差を定義する外部輪郭を含むステップと、

c) 各構築層を1つ以上の層領域に分割するステップと、

d) 第1の事前定義された充填戦略に基づいて、第1の層領域を完全に埋める第1のツールパスセクションを決定するステップと、

e) 第2の事前定義された充填戦略に基づいて、同じ層または隣接する層のいずれかで前記第1の層領域に隣接する第2の層領域を完全に埋める第2のツールパスセクションを決定するステップであって、前記第1の層領域内の前記第1のツールパスセクションの終了点は、前記第2のツールパスセクションの対応する開始点に直接隣接しており、

50

f) 単一のツールパスを定義するために、ツールパスセクションの開始点を、隣接する層または装置領域の以前のツールパスセクションに対応するツールパスセクションの終了点と一致させることにより、すべての層領域に対して前記ステップ d) および e) を繰り返すステップと、

g) 印刷ツールを制御して前記ツールパスに沿って移動して前記 3 次元構造を形成するための一連の制御コマンドを含む印刷ツール制御アルゴリズムを生成するステップと、を含む。

【0024】

いくつかの実施形態では、前記ステップ f) は、隣接するパーティションの開始点と終了点との間の前記構造の外部輪郭の周りに延びる輪郭ループパスを定義することを含む。

10

【0025】

前記第 1 および第 2 の態様のいくつかの実施形態では、ツールパスは、前記 3 次元構造を形成するための印刷時間を最適化するように定義される。いくつかの実施形態では、前記ツールパスは、前記 3 次元構造の形成中に前記ツールパスに沿った印刷ツールジャンプの数を最小限に抑えるように定義される。いくつかの実施形態では、前記ツールパスは、前記ツールパスに沿ったパス交差の数を最小化するように定義される。いくつかの実施形態では、前記ツールパスは連続的であり、前記パスの他のセクションと交差していない。いくつかの実施形態では、前記ツールパスは、前記 3 次元構造を形成するために使用される印刷材料の量を最小限にするように定義される。いくつかの実施形態では、前記ツールパスは、前記ツールパスに沿った印刷ツールの回転の数および程度を最適化するように定義される。いくつかの実施形態では、前記ツールパスは、前記 3 次元構造の全体的な構築の強度を高めるために、いくつかの層の交差を最適化するように定義される。

20

【0026】

好ましくは、上記の方法のステップは、それらが記載されている順序で順次実行される。

【0027】

本発明の第 3 の態様は、付加造形プロセスにおいて印刷ツールを制御する方法を提供し、前記方法は、

コンピュータプロセッサによって、前述の請求項のいずれか 1 つに記載の方法によって生成された印刷ツール制御アルゴリズムを実行し、

前記印刷ツール制御アルゴリズムにตอบสนองして、事前定義された 3 次元構造を形成するためにツールパスに沿って移動するように印刷ツールを制御するための電気信号を生成する。

30

【0028】

いくつかの実施形態では、前記印刷ツール制御アルゴリズムは、異なる構築層または層領域にわたって 1 つまたは複数の構築パラメータを変更するための命令を含む。いくつかの実施形態では、前記印刷ツールの行間隔は、1 つまたは複数の層領域間で変化する。いくつかの実施形態では、前記印刷ツールの動きは、1 つまたは複数の層領域間で変化する。いくつかの実施形態では、充填戦略は、1 つまたは複数の層領域間で変化する。いくつかの実施形態では、構築層の厚さまたは高さは、1 つまたは複数の層の間で変化する。

【0029】

いくつかの実施形態では、前記印刷ツールは、少なくとも 1 つのロボットアームを含む。いくつかの実施形態では、前記印刷ツールは、前記ロボットアームによって動作位置に保持されるコールドスプレーガンを含む。

40

【0030】

本発明の第 4 の態様は、前記第 1、第 2、または第 3 の態様のいずれか 1 つに記載の方法を実施するように構成されたコンピュータシステムを提供する。

【0031】

本発明の第 5 の態様は、コンピュータによって実行されると、前記コンピュータに前記第 1、第 2、または第 3 の態様のいずれか 1 つに従った方法を実行させる命令を含むコンピュータプログラムを提供する。

【0032】

50

本発明の第 6 の態様は、コンピュータによって実行されると、前記コンピュータに、前記第 1、第 2、または第 3 の態様のいずれか 1 つに従った方法を実行させる命令を含むコンピュータ可読記憶媒体を提供する。

【 0 0 3 3 】

本発明の第 7 の態様は、付加造形システムを提供し、前記付加積層造形システムは、前記第 1 から第 3 の態様のいずれかによる方法によって生成された印刷ツール制御アルゴリズムを実行するように構成されたコンピュータプロセッサと、前記印刷ツール制御アルゴリズムに基づいてコンピュータプロセッサによって生成された電気信号に応答する印刷ツールと、を含み、

前記電気信号は、前記印刷ツールをツールパスに沿って移動させて、事前定義された 3 次元構造を形成するように構成される。

10

【 0 0 3 4 】

本開示の好ましい実施形態は、添付の図面を参照して、例としてのみ説明される。示される実施形態は単なる例であり、本明細書に添付された特許請求の範囲で定義される本発明の範囲を限定するものとして解釈されるべきではないことが理解されよう。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 5 】

【図 1】基板を保持するロボットアームおよび静止したコールドスプレーガンを含む第 1 のコールドスプレー付加造形システムの側面斜視図である。

【 0 0 3 6 】

【図 2】コールドスプレーガンおよび基板をそれぞれ保持する一対のロボットアームを含む第 2 のコールドスプレー付加造形システムの上面斜視図である。

20

【 0 0 3 7 】

【図 3 a】図 1 および図 2 のコールドスプレー付加造形システムの概略システムレベル図である。

【 0 0 3 8 】

【図 3 b】2 つの別個の制御コンピュータが利用されている、図 1 および図 2 のコールドスプレー付加造形システムの概略システムレベル図である。

【 0 0 3 9 】

【図 4 a】図 1 に示されているような印刷ツールを制御するためのツールパスを決定する方法における主要なステップを示すプロセスフロー図である。

30

【 0 0 4 0 】

【図 4 b】図 4 a の方法でツールパスを定義するために部分層アプローチを実行する第 1 の方法の主要なステップを示すプロセスフロー図である。

【 0 0 4 1 】

【図 4 c】図 4 a の方法でツールパスを定義するために部分層アプローチを実行する第 2 の方法の主要なステップを示すプロセスフロー図である。

【 0 0 4 2 】

【図 4 d】図 4 c の前記第 2 の部分層アプローチのために作成された隣接グラフの例であり、前記グラフは、3 つの要素を含み、それぞれが 2 つの層のうちの 1 つにある。

40

【 0 0 4 3 】

【図 4 e】図 4 d の前記 3 つの要素などの 3 つのパーティションに適用することができる優先度グラフである。

【 0 0 4 4 】

【図 4 f】正方形の形状の領域の層 n を示しており、それがどのように 4 つの要素に分割され得るかを示している。

【 0 0 4 5 】

【図 5 a】3 D C A D ファイルによって表されるように形成される矢印形の物体の斜視図である。

【 0 0 4 6 】

50

【図5b】図5aの3D CADファイルのSTL三角測量の斜視図である。

【0047】

【図6】STLファイルをスライスし、ツールパスを計算し、そして印刷ツール制御アルゴリズムを出力するために使用される例示的なGUIのスクリーンショットである。

【0048】

【図7a】複数の水平面に分割された3D十字形構造の立面斜視図である。

【0049】

【図7b】図7aの十字形の構造からの例示的な層の立面図である。

【0050】

【図8】3つの長方形の仕切りに分割された図7bの層の平面図である。

10

【0051】

【図9a】長方形の仕切りのためのスパイラルパターンの充填戦略の概略図である。

【0052】

【図9b】長方形のパーティションのラスタパターン充填戦略の概略図である

【0053】

。【図10a】長方形の仕切りを充填するために使用される3つの例示的なハイブリッド充填パターンの概略図である。

【図10b】長方形の仕切りを充填するために使用される3つの例示的なハイブリッド充填パターンの概略図である。

20

【図10c】長方形の仕切りを充填するために使用される3つの例示的なハイブリッド充填パターンの概略図である。

【0054】

【図11】隣接する層が逆のツールパスを有する二重層充填戦略を使用して正方形の物体を充填するためのツールパスの概略図である。

【0055】

【図12a】十字形の構造を充填するための第1のツールパスの概略平面図である。

【0056】

【図12b】十字形の構造を充填するための第2のツールパスの概略平面図である。

【0057】

30

【図12c】ツールパスが連続的で交差していない十字形の構造を充填するための第3のツールパスの概略平面図である。

【0058】

【図12d】十字形の構造の2つの層を示す、図12cからの第3のツールパスの斜視図である。

【0059】

【図13a】物体を製造するための連続パスを示す6層の矢印形の物体の側面概略図である。

【0060】

【図13b】ラスタスタイルのツールパス充填戦略を示す、図13aの矢印形状のオブジェクトの層の平面図である。と

40

【0061】

【図13c】本明細書で説明されるような二重層ツールパス戦略を使用して構築された図13aおよび図13bの矢印形状のオブジェクトの画像である。

【発明を実施するための形態】

【0062】

(システム概要)

本明細書に開示および図示された実施形態は、固体粉末が圧力下で基板上に投射されて基板に付着するコールドスプレー堆積タイプ3D印刷を参照して説明される。しかしながら、本開示は、溶接ベースの付加造形(例:ワイヤーアーク付加造形)、粘性流体3D印刷

50

、ポリマーおよび繊維強化ポリマーの3D印刷、並びに、コンクリート3D印刷のような他のタイプの3D印刷にも適用可能であることが理解されよう。

【0063】

最初に図1および図2を参照すると、2つの類似しているが別のコールドスプレー付加造形システム100および200が示されている。図1のシステム100は、静止したコールドスプレーガン102の形態の印刷ヘッドと、実質的に平面の印刷基板105を保持するための6軸ロボットアーム104とを含む。コールドスプレーガン102は、プラズマ技研工業株式会社によって製造されたモデルであり、本体107および細長い円筒形の印刷ヘッド114を含む。スプレーガン印刷ヘッド114は、高圧下で堆積粉末のビームを基板105の所望の領域に投射するように適合されている。基板との衝突中に、粒子は

10

【0064】

図2は、図1と同様のシステムを示しているが、コールドスプレーガン103が第2の6軸ロボットアーム116に取り付けられている。図1の対応する機能は、図2の同様の参照番号で示されている。コールドスプレーガン103は、インパクト・イノベーション・ゲーエムペーハー (Impact Innovations GmbH) によって製造されたモデルであり、材料供給導管110が延びるバックエンド108と、スプレーガン印刷ヘッド114が突出するフロントエンド112との間に延びる、実質的に円筒形に細長い本体106を含む。

20

【0065】

スプレーガン103およびロボットアーム104および116は、コールドスプレー堆積または他の付加造形プロセスを実行するための他の同等の装置によって置き換えられ得ることが理解されるであろう。他の実施形態では、デュアルロボットアームシステムは、固定またはロボット制御マウントの他の組み合わせによって置き換えることができる。例えば：

- ・一実施形態では、コールドスプレーガン（または他の印刷ヘッド）はロボットアームによって保持され、基板は固定マウントで静止状態に維持される。
- ・一実施形態では、スプレーガン（または他の印刷ヘッド）は、6軸ロボットアームによって保持され、基板は、回転台（ターンテーブル）および傾斜機構からなる位置決め装置に取り付けられる。このシステムは、ロボットアームに2つの追加軸を提供する。
- ・他の実施形態では、モーターを使用して印刷ヘッドおよび/または基板ステージをトラックまたはレールに沿って移動させる積層造形セルが提供される。たとえば、デカルト3Dプリンターは、3セットのモーター（ステップモーターなど）を使用して、X-Y-Zの並進運動を実行する。デルタ構成と極性構成を使用する同様のシステムが利用可能である。

30

【0066】

他の実施形態では、コールドスプレーシステム100は、他の付加造形システムに置き換えることができ、コールドスプレーガン102は、他の印刷ヘッドに置き換えることができる。たとえば、ワイヤー・アーク・アディティブ・マニファクチャリング (wire arc additive manufacturing : WAAM) システムでは、印刷ヘッドに溶接トーチが含まれる。指向性エネルギー堆積 (directed energy deposition : DED) システムでは、印刷ヘッドにレーザー、電子ビーム、またはプラズマアークが組み込まれており、溶融によって材料を堆積する。他のシステムでは、印刷ヘッドは押し出しノズルを含み得る。

40

【0067】

印刷ヘッド114の3D位置および3D方向は、スプレーガン本体106の上部に取り付けられた6軸ロボットアーム116によって厳密に電気機械的に制御される。同様に、基板105の3D位置および3D配向もまた、ロボットアーム104によって厳密に電気機械的に制御され得、12自由度にわたる完全な印刷制御を可能にする。

【0068】

50

ここで図 3 a を参照すると、ロボットアーム 1 0 4 および 1 1 6 は、各ロボットアームと電氣的にまたは無線でデータ接続された制御コンピュータ 1 1 8 によって制御される。例として、ロボットアーム 1 0 4 および 1 1 6 および制御コンピュータ 1 1 8 は、ABB ロボティクス (ABB Robotics) によって製造された産業用ロボットであっても良い。制御コンピュータ 1 1 8 は、位置制御信号 1 2 0 をロボットアーム 1 0 4 に送信して、動作空間内の任意の 3 D 位置 / 方向に基板 1 0 5 を位置付けおよび方向付けるように構成される。同様に、制御コンピュータ 1 1 8 は、位置制御信号 1 2 2 をロボットアーム 1 1 6 に送信して、印刷ヘッド 1 1 4 を操作空間内の任意の 3 D 位置 / 方向に配置および方向付けるように構成される。さらに、制御コンピュータ 1 1 8 はまた、堆積材料フロー制御信号 1 2 4 をスプレーガン 1 0 2 に送信して、印刷ヘッド 1 1 4 からの材料フローのフローパラメータを選択的にアクティブ化、非アクティブ化、または変更するように構成される。いくつかの実施形態では、追加のフィードバック制御信号もまた、ロボットアーム 1 0 4 および 1 1 6 およびスプレーガン 1 0 2 から送信されて、コンピュータ 1 1 8 を制御する。

【 0 0 6 9 】

図 3 b に示されるように、別の構成では、別個の制御コンピュータ 1 3 0 を使用して、ロボットアーム 1 0 4 および 1 1 6 を制御するために使用されるコンピュータ 1 1 8 へのコールドスプレープロセス用のスプレーガン 1 0 2 を制御することができる。この配置では、コールドスプレープロセスはロボットコントローラから完全に独立している。これには、最適な状態に保つために送り速度や出力などを調整する必要なしに、より一定した方法で堆積プロセスを容易にするという利点がある。

【 0 0 7 0 】

本明細書全体を通して、付加造形プロセスを実行するための「印刷ツール」という用語の使用は、スプレーガン 1 0 2、印刷ヘッド 1 1 4、およびロボットアーム 1 0 4 および 1 1 6 のうちの 1 つまたは複数を指すことを意図している。これに関して、「ツールパス」は、印刷ヘッド 1 1 4 の先端またはツール中心点 (tool centre point : T C P) と基板 1 0 5 との間の相対的な物理的位置を指し得る。コールドスプレーロボットプログラミングでは、T C P は通常ノズルの先端から短い距離にある。例えば、基板は、ノズルの端から 2 0 mm または 3 0 mm などの設定されたスタンドオフ距離に維持することができる。印刷ヘッドが素材に対して角度を付けられている場合、回転の中心は T C P である。ツールパスの形状は、通常、基板 1 0 5 に対して定義される。例として、3 D ツールパス座標系は、基板 1 0 5 のコーナーに対して定義され得る。

【 0 0 7 1 】

制御信号 1 2 0、1 2 2、および 1 2 4 は、印刷ツールを制御してツールパスに沿って移動し、製造される 3 次元構造またはオブジェクトを形成するための一連の符号化された制御コマンドを含む。位置制御信号 1 2 0 および 1 2 2 のためのこれらの制御コマンドは、図 4 を参照して以下に概説されるツールパス計画プロセスによって決定される。

【 0 0 7 2 】

(ツールパスプランニング)

図 4 a を参照すると、図 1 および図 2 に示されているような印刷ツールを制御するためのツールパスを決定する方法 4 0 0 が示される。最初のステップ 4 0 1 で、方法 4 0 0 は、形成される 3 次元構造を示すデータを含む入力ファイルを受信することを含む。

【 0 0 7 3 】

入力ファイルは通常、コンピュータ支援設計 (C A D) ソフトウェアパッケージを使用して作成される構造またはオブジェクトの 3 次元モデルから作成された S T L (stereolithography: ステレオリソグラフィー) ファイルである。ただし、入力ファイルは、.OBJ、.AMF、.3MF ファイル形式などの他の形式をとることがある。例として、図 5 a は、3 D C A D ファイルによって表されるように形成される例示的な矢印形のオブジェクト 5 0 0 を示している。図 5 b は、3 D C A D ファイルの対応する S T L 三角測量 5 0 1 を示している。S T L ファイルは、3 D 印刷アプリケーションで使用できるさまざまなスライシングソフトウェア製品に入力するための標準ファイル形式である。S T L ファイルは、色

10

20

30

40

50

やテクスチャなどの他の一般的なCADモデル属性を表現せずに、3次元構造の表面ジオメトリのみを記述する。

【0074】

ソリッドワークス (SolidWorks) (ダッソー・システムズ・ソリッドワークス・コーポレーション (Dassault Systemes SolidWorks Corporation) が所有)、オートデスク・フュージョン360 (Autodesk Fusion 360) (オートデスク株式会社 (Autodesk, Inc) が所有)、オートデスク・インベーター (Autodesk Inventor) (オートデスク株式会社 (Autodesk, Inc) が所有) を含むが、これらに限定されない、さまざまな市販のCADソフトウェアパッケージのいずれかを使用して入力ファイルを作成できることを理解されたい。

10

【0075】

オプションのステップ402において、3次元構造を構築するための1つまたは複数の構築パラメータ (build parameters) は、ユーザインターフェースを介してユーザによって入力され得る。ユーザインターフェースは、制御コンピュータ118とのデータ通信においてディスプレイおよびユーザ入力デバイスを介してアクセス可能なグラフィカルユーザインターフェース (GUI) であり得る。あるいは、ユーザインターフェースは、LANまたはインターネットなどのネットワークを介して制御コンピュータ118とデータ通信している別個のコンピュータデバイスによってアクセス可能であり得る。ステップ402は、構築パラメータが手動で入力されるのではなく自動的に事前定義および設定され得るという点でオプションである。いずれの場合も、ツールパス決定プロセスを開始する前に、特定の構築パラメータを定義する必要がある。

20

【0076】

構築パラメータの例は以下を含む。

- ・ラスター、スパイラル、ジグザグ、ハイブリッドパターンの充填戦略 (infill strategy) などの充填戦略 (infill strategy)
- ・構築層の層の高さまたは厚さ
- ・ツールパスの行間隔
- ・印刷ヘッドの移動速度
- ・印刷ヘッドのノズル角度
- ・ツールパスの曲率半径の最小値または最大値
- ・印刷ヘッドの開始点
- ・実際のツールパス仕様から許容される許容誤差または偏差

30

【0077】

図6は、STLファイルのスライス、ツールパスの計算、および印刷ツール制御アルゴリズムの出力に使用されるGUI600の例のスクリーンショットを示す。このGUIの背後にあるソフトウェアは、Pythonプログラミング言語で書かれている。しかしながら、同様のプログラムが他のプログラミング言語で実装され得ることが理解されよう。

【0078】

オプションのステップ403において、3次元構造は、複数のボリューム構造に分割され得る。このボリューム分割は、3次元構造がより複雑で、さまざまな形状のコンポーネントが含まれている場合に生じ得る。異なるボリュームサブ領域に分割される可能性のある複雑な構造の例には、ブラケットやウィングリブなどのオーバーハングのある構造が含まれる。または、テーブルを例にとってみる。この場合、テーブルのベースは各レッグに個別に分割され、異なるボリューム構造は個別に製造される。したがって、方法400によって決定されるツールパスによって製造される3次元構造は、異なる体積構造が異なる構築方向を有する、より大きな3次元オブジェクトの一部を形成することができる。単純な構造の場合、構築プロセスは、3次元構造をボリューム構造に分割せずに実行できる。

40

【0079】

ステップ404において、ボリューム構造のそれぞれについて、構築方向が構造を通して定義され、構築方向に対して横方向に延びる複数の構築層が定義される。例として、図

50

7 a は、破線で示される複数の水平面（例えば、7 0 1）に分割された 3 D 十字形構造 7 0 0 を示している。構築方向は矢印 7 0 2 で示されている。スライスの結果である層 7 0 1 は図 7 b に示されている。

【 0 0 8 0 】

付加造形プロセスは、基板 1 0 5 上への材料の連続的な堆積を伴うので、必然的に、基板 1 0 5 の表面に通常垂直である事前定義された構築方向が存在する。以下に述べるように、いくつかの実施形態では、特に構造に対してより複雑な支持要素が必要とされる場合、オブジェクトの異なるボリューム構造に対して複数の構築方向が存在する可能性がある。ただし、オブジェクトの特定のボリューム構造内では、積層造形プロセスは従来、一連の構築層での堆積に依存している。

10

【 0 0 8 1 】

各構築層は 3 次元構造全体に広がるため、構築層と形成されるオブジェクトの表面との交差を定義するループである 1 つまたは複数の輪郭が含まれる。一般的に、S T L 形式のファイルなどの 3 D モデルは、モデルの表面を三角形メッシュで近似する。その結果、層平面とモデルサーフェスの交差により、直線セグメントを含む輪郭が生成される。それらは単純な、交差しないポリゴンである。

【 0 0 8 2 】

外部輪郭は、層平面と、十字形構造 7 0 0 の垂直壁などの 3 D オブジェクトの外表面との交差から生じる。定義された各層には、少なくとも 1 つの外部輪郭が含まれている必要がある。内部輪郭は常に外部輪郭で囲まれた領域に制限され、内部空洞を含む 3 D オブジェクトをスライスした結果として生じる。すべての層に内部輪郭が含まれるわけではない。3 D オブジェクトに内部空洞が含まれていない場合、スライスされたモデルには内部輪郭がない。

20

【 0 0 8 3 】

構築層は、定義された構築方向に対してほぼ垂直に伸びるが、湾曲した層の場合は、構築層の方向に部分的に伸びることもある。ただし、より一般的には、構築層は構築方向に対して横方向に伸びる。従来の付加造形プロセスは、プロセスが次の層に移動する前に、層を完全に塗りつぶすことに依存している。つまり、外部輪郭と内部輪郭（存在する場合）の間の構築層を完全に埋める。

【 0 0 8 4 】

図 7 a の挿入図に示されるように、ステップ 4 0 4 の階層化プロセスは、S T L ファイル（または他の入力ファイル形式）の 3 次元構造を、スライスアルゴリズムに基づいて、厚さ d によって分離された n 個の一方向または多方向層にスライスすることを含む。構築パラメータを設定する際に選択された各層の厚さ d は、最終的に、各層の間のロボットアーム 1 0 4 および 1 1 6 の位置を決定する。ただし、層が厚くなると、各層の印刷ヘッド 1 1 4 からより多くの印刷材料を投影する必要がある。したがって、層厚構築パラメータは、部分的に、位置制御信号 1 2 0 および 1 2 2、ならびに材料流動制御信号 1 2 4 を定義する。

30

【 0 0 8 5 】

上記のように、S T L ファイルには 3 次元空間の三角形のセットが含まれている。各三角形は 3 つの線分で構成される。一実施形態では、ステップ 4 0 4 の階層化プロセスは、層を定義する無限平面との一組の S T L 線分との交点を決定することを含む。次に、交点が配置およびグループ化されて、輪郭ポリゴンが作成される。

40

【 0 0 8 6 】

上記のように、通常、構築層には、構築方向に対して横方向および垂直方向に延びる平面が含まれる。しかしながら、いくつかの実施形態では、構築層は、曲面または他の非平面構造を含み得る。たとえば、円筒形のスライスでは、ロボットアームの軸を利用して回転運動を実行する。

【 0 0 8 7 】

より大きな 3 次元構造がステップ 4 0 3 で別個のボリューム構造に分割される場合、ス

50

ステップ404のこの層分割プロセスは、各ボリューム構造に対して別々に実行され得るものであり、各ボリューム構造は、異なる構築方向を含み得る。したがって、例として、3次元構造は、3つのボリューム構造 V_i 、 V_j 、 V_k を備え得るものであり、各ボリューム構造は、それぞれ、それぞれの厚さ d_i 、 d_j および d_k を有する n_i 、 n_j および n_k 層スライスのスタックに分割される。異なるボリューム構造の層スライスの数と厚さは、同じでも異なっている場合もある。

【0088】

ステップ405で、本発明に特有の部分層完成技術を採用することによって、ボリューム構造（またはステップ403で単一のボリューム構造のみが定義される場合は3次元構造全体）を埋めるためのツールパスが定義される。この部分レイヤー完了手法では、少なくとも1つの下位構築層を完全に埋める前に、構築方向に沿って1つ以上の上位構築層を部分的に埋めることによってボリューム構造を埋めるツールパスが定義される。このように、ツールパスは、従来技術のように層ごとのアプローチに制約されず、3次元ボリューム構造全体を横断することから利用可能な自由度を利用する。

10

【0089】

ステップ405で部分層完成技術を実行するために、いくつかの異なるアプローチが可能である。そのようなアプローチの1つは、最適化アルゴリズムを活用して、部分的な層交差を持つ適切なパスを定義することである。1つのアプローチでは、ツールパスの個別のセクションがボリューム構造内で定義され、グラフ理論に基づく最適化アルゴリズムを使用してこれらがリンクされる。たとえば、ハミルトンパス探索アルゴリズムを適用して、ツールパスの各セクションを1回だけ使用しながら、隣接するツールパスのセクションをリンクすることができる。

20

【0090】

3次元では、層 n のツールパスセクションは、層 n の隣接領域、または層 $n+1$ または $n-1$ の領域に隣接し得る。この手法は、セクションをリンクするために異なる層にまたがる複数の遷移が必要な複雑な形状を埋めようとする場合に特に役立つ。あるいは、ツールパスの近くのセクション間の距離をコストマトリックスとして記録することもできる。次に、コスト最小化ルーチンを実装して、近くのセクション間の最小パスを見つけることができる。「アンダーカット」を回避するために現在の層の特定の領域を塗りつぶす前に、最初に塗りつぶす必要がある下の層の領域を追跡するために、優先度グラフ（precedence graph）を作成できる。

30

【0091】

（二重層ツールパス戦略）

ここで図4bを参照すると、部分的な層の完成を実行するための二重層戦略に基づいてツールパスを定義するためにステップ405を実行する例示的な方法が示されている。ステップ405aで、各構築層は、1つまたは複数の横方向層要素またはパーティションに分割される。例として、図8は、3つの長方形のパーティション $P_1 \sim P_3$ に分割された図7の十字形構造700の層701を示している。いくつかの実施形態では、特に形成される構造が比較的単純な形状を有する場合、ステップ405aの出力は、層が、層全体を包含する単一の層領域によって定義されても良い。

40

【0092】

ステップ405aは、各層について、外部輪郭によって囲まれた領域をより小さな多角形に分割することを含む。たとえば、凸型の分割ルーチンを使用して凹型の頂点を削除し、充填パス（infill paths）の計算を簡単に行うことができる。いくつかの実施形態では、ステップ405aの層分割は、充填パス計算ルーチン（以下のステップ405b）に組み込まれるが、これらのプロセスを別個のステップとして実行することは、通常、より単純なワークフローを提供する。

【0093】

ステップ405bにおいて、第1のパーティションを完全に埋める第1のツールパスセクションは、第1の事前定義された充填戦略に基づいて決定される。充填戦略は、ラスタ

50

一、スパイラル、またはハイブリッド戦略などの複数の既知の戦略のいずれか1つであり得る。図9 aは、長方形のパーティションのスパイラルパターンの充填戦略の例を示し、図9 bは、同じ領域のラスタパターンの充填戦略の例を示している。これらの図では、実線は破線で示された長方形の輪郭内のツールパスを表している。輪郭の頂点には1、2、3、4のラベルが付けられ、インフィルパスの最初の2つの頂点には5と6のラベルが付けられる。

【0094】

Lをライン間隔として使用する場合、スパイラル充填戦略では、輪郭で囲まれた領域が埋められるまで、各ラインセグメントを距離Lだけ内側にオフセットする。最初に等高線セグメントがオフセットされ(点線)、次にスパイラルパターン自体のセグメントがオフ

10

【0095】

ラスタ充填戦略では、最初の輪郭セグメントを距離Lだけオフセットし、次のセグメントの方向に少し移動してから、最初のセグメントをオフセットする。

【0096】

ハイブリッド充填パターンでは、フルムーブメントとショートムーブメントのより任意の組み合わせを使用して、一部のパーツがスパイラルのように見え、他のパーツがラスタのように見えるようにする。図10 a ~ 10 cは、長方形のパーティションを埋めるために使用される3つの例示的なハイブリッド充填パターンを示している。

【0097】

終了点は、充填戦略ごとに異なる場所にあることに注意すべきである。このように、コンピュータアルゴリズムは、さまざまなラスタとスパイラルの組み合わせを使用して、隣接するパーティションの開始点に隣接する点、例えば、上または下のレイヤーに到達できる。

20

【0098】

ステップ405 cにおいて、第2の層領域を完全に埋める第2のツールパスセクションが、第2の事前定義された充填戦略に基づいて決定される。第2の事前定義された充填戦略は、第1の事前定義された充填戦略と同じであっても異なってもよい。第2層領域は、好ましくは、次の隣接層($n+1$)の第1層領域に隣接して配置される。部分的または完全な連続性を維持するために、第1の層領域内の第1のツールパスセクションの終了点は、好ましくは、第2のツールパスセクションの対応する開始点に直接隣接するか、または可能な限り近い。これは、図11に概略的に示されています。この図は2つの隣接する層の同じ正方形の層領域のツールパスセクションを示している。図に示すように、層nでは、ツールパスセクションはポイントAからポイントBに伸び、層 $n+1$ では、ツールパスセクションはポイントBからポイントAに戻り、2つの隣接するレイヤー領域にまたがる連続したツールパスを提供する。

30

【0099】

図11に示す例では、機能が実行される順序は次の通りである。

- i) 点Aにつながる正方形の層nの下部輪郭
- ii) 層nの充填ポイントAからポイントB
- iii) 層 $n+1$ にステップアップし、ポイントBからポイントAに逆方向に塗りつぶす。
- iv) 層nにステップダウンし、反時計回りに移動して黒い点に移動する。
- v) 層 $n+1$ にステップアップし、完全な反時計回りの輪郭ループを実行する。

40

終了点は開始点と同じだが、1層上にある。ツールヘッドをもう一度1層上げてパターンを繰り返すと、次の2つの層($n+2$ と $n+3$)内の層領域を、層 $n+2$ または $n+3$ のいずれかを完全に埋める前に、同様の2層の方法で埋めることができる。

【0100】

このような充填戦略は、層 $n+1$ のツールパスセクションが、隣接する層nの隣接する層領域のツールパスセクションの直接の逆である二重層戦略と呼ぶことができる。図11は逆ラスタパターンを示すが、他の相互パターンが可能であることが理解される。たと

50

例えば、1つの二重層充填戦略には、層 n の外層領域ポイントで始まり、層 n の中央層領域ポイントで終わるスパイラル充填パターンが含まれる場合がある。隣接する層 $n + 1$ の充填戦略には、中心点で始まり外側点で終わる逆スパイラルパターンが含まれる。

【0101】

図12aから図12cは、図7に示される十字形構造700の層701を埋めるために使用することができる3つの例示的なツールパスを示す。ここで、矢印はツールヘッドの移動方向を示し、ドットは現在の層から上の層への遷移を示す。破線は、上または下のレイヤーから現在のレイヤーへの移行移動を表す。図12aおよび図12bのパス戦略は、図8に示されているステップ404の層分割(layer partitioning)を活用しない不十分な戦略を表す。図12cおよび図12dのパス戦略は、層分割(layer partitioning)を活用し、連続した非交差パスを提供する改善された戦略を表す。

10

【0102】

図12aは、十字形を2つの長方形として扱う不十分なツールパス戦略を示す。このツールパスにより、2つの長方形が重なる中央の正方形の材料の量が2倍になる。材料がコールドスプレーによって堆積されている場合、構築(build)の上面の高さが不均一になり、スプレーノズルに対して垂直ではなくなるため、高レベルの多孔性が発生する。さらに、構築プロセスを続行するには、余分な材料を定期的に削除する必要がある。

【0103】

図12bは、倍増の問題を回避するラスタパターンを示しているが、それでも交差パス戦略である。寸法の急激な変化が発生した場合、充填パスは輪郭と交差する。パスは、ある層から次の層への移行時に、外部輪郭で囲まれた領域も離れる。したがって、このツールパス戦略も最適化されていない。

20

【0104】

図12cは、図8に示されている層分割に従うことにより、十字形構造を埋める連続した交差しないパスを示す。ラスタ充填パターンは、各パーティション内で縦方向に配置される。輪郭ループパスは、あるパーティションから別のパーティションに移動するために使用される。各パーティションに示されている層から上の層への遷移が1つと、左側の外部輪郭に別の遷移がある(合計4つの層遷移)。上の層には同じラスタパターンが含まれているが、移動方向は逆方向である。図12dは、同じツールパスを示しているが、2つの隣接する層の3Dビューである。

30

【0105】

図12cおよび図12dの戦略のように、ツールパスが連続的である場合、印刷ヘッド114への印刷材料の流れは、印刷プロセス全体を通して維持することができる。これは、材料の流れのプロセスを阻害する可能性がある印刷ヘッド114の望ましくない非活性化(または「ジャンプ」)を回避する。送り機構によっては、送りをオフにしてから再度オンにしても、ほぼ瞬時に反応しない場合がある。粉末供給プロセスでは、供給が再開されると、多くの場合、一定でないまたは不安定なロジスティクスフローの期間がある。コールドスプレープロセスでは、粉末注入の突然の乱れが超音速ガス流の変動を引き起こし、堆積物の欠陥や過剰な多孔性、またはノズルの閉塞を引き起こす。粘性流体のポンプ駆動供給では、圧力の蓄積のために流れを止めることは困難である。これにより、堆積する材料の量、処理時間、および製造プロセスの実行に必要なエネルギーを削減することもできる。

40

【0106】

図11および図12に示されているツールパス戦略に従うと、構造の2つの隣接する層の領域が部分的に埋められ、その後、これらの層のいずれかが完全に埋められることが指摘される。これは、構造が純粹に層ごとに製造され、隣接する層が前の層が完成するまで開始されない従来技術の技術とは異なる。ツールパスのこの追加の柔軟性は、時間、コスト、および製造品質に利点がある、より連続的なツールパスを提供する。さらに、部分的な層補完技術は、オプションで、構築方向に沿ってより多くの層間ツール交差を定義することを提供する。これにより、層の交差が構築方向に沿った補強として機能できるため、

50

層化が減少し、構築 (build) 全体の強度を高めることができる。

【0107】

従来の3D印刷部品は、X-Y (構築層) 平面に平行な方向で測定されたプロパティと比較して、Z方向 (構築方向) のプロパティが劣るため、機械的異方性が発生することがよくある。たとえば、アクリロニトリルブタジエンスチレン (ABS) やポリ乳酸 (PLA) などの一般的なポリマーの3D印刷では、層を横切るポリマー鎖の相互拡散がないため、構築方向の強度が面内の強度よりも50~75%低くなることがよくある。(C. デューティ、J. ファイラ、S. キム、T. スミス、J. リンダール、V. カンク、アディティブ・マニファクチャリング 2019、27、175-184 (C.Duty, J.Failla, S.Kim, T.Smith, J.Lindah, V.Kunc, Additive Manufacturing 2019、27、175-184) を参照)。

10

【0108】

別の例は、炭素繊維強化ポリマー、ガラス繊維強化ポリマー、またはケブラー強化ポリマーの3D印刷などの繊維強化ポリマーの3D印刷である。連続繊維印刷と呼ばれることもあるが、実際には、繊維の敷設はすべての層の完了時に中断され、通常は各層内で何度も中断される。これを補うために、「z-pinning」として知られるプロセスで、ピンが挿入される垂直方向のボイドを部品に意図的に印刷できることが提案されている (ロッシュリ、アレックス C.、デューティ、チャド E、リンダール、ジョン M.、ポスト、ブライアン K、チェサー、フィリップ C.、ラヴ、ロニー J.、ガウル、キャサリン T.、インクリーシング・インターラミナー・ストレンクス・イン・ラージ・スケール・アディティブ・マニファクチャリング、米国：N. p.、2018. ウェブ (Roschli, Alex C., Duty, Chad E, Lindahl, John M., Post, Brian K., Chesser, Phillip C., Love, Lonnie J., and Gaul, Katherine T. Increasing Interlaminar Strength in Large Scale Additive Manufacturing. United States: N. p., 2018. Web.) を参照)。しかしながら、本発明者らは、層交差をツールパスに組み込むことにより、製造プロセスに面倒なステップを大幅に変更または追加する必要なしに、Z方向特性を改善するより簡単な方法を提供することを確認した。

20

【0109】

いくつかの実施形態では、隣接する層を充填する前に、特定の層を完全に充填することが有利である場合がある。一部の層が完全に順次充填され、他の層は一度に部分的にのみ充填されるように、異なる層領域および異なる層にわたって異なる充填戦略を採用することができることが理解されよう。たとえば、スパイラルパターンとラスタパターンのハイブリッドは、異なる層領域で実行できる。ある特定の例では、連続する各層で90度方向を変えたラスタパターンは、クロスハッチングパターンと呼ばれる。

30

【0110】

ステップ405dで、ツールパスが完了したかどうかに関して判断がなされる。埋める追加の層領域がある場合、ツールパスセクションの開始点を、隣接する層または層領域の前のツールパスセクションの対応するツールパスセクションの終了点と一致させることによって、ステップ405bおよび405cは、すべての層領域に対して繰り返される。マッチングとは、それぞれのツールパスセクションの開始点と終了点が、印刷ヘッド114の非アクティブ化またはジャンプを最小化または回避するのに十分に近いことを意味する。

40

【0111】

ツールパスセクション間の連続パスを実現するには、ツールパス戦略がパーティションの開始点と終了点を接続する際に、構造の外部輪郭をループすることが有利である。この輪郭ループは、個々のパーティションまたは層領域がばらばらになる可能性を減らし、連続したパスを提供する能力を高める。したがって、外部輪郭パスは、充填パスの各セクションの終了点と開始点の間のリンクを提供するセクションに分割される。

【0112】

(ハミルトニアンツールパス戦略)

ここで図4cを参照すると、部分的な層の完了を実行するためのハミルトン閉路問題戦

50

略に基づいてツールパスを定義するためにステップ 4 0 5 を実行する別の例示的な方法が示されている。

【 0 1 1 3 】

ステップ 4 0 5 i で、各構築層は、複数の横方向層領域またはパーティションに分割される。各層領域は、対応する「要素」に基づいて決定される。以下に説明するように、各要素はハミルトン閉路問題のノードを表す。要素には、他の領域の前に塗りつぶす必要がある構造のサブ領域または層が含まれる場合がある。これらは、外部輪郭パスで囲まれた領域をより小さな領域に分割することによって作成される。要素には、充填セクション間の接続パスも含まれる場合がある。たとえば、これらは外部輪郭ループパスのセクションである場合がある。要素はまた、内部輪郭から形成された穴の周囲を一周することができるパスを表す内部輪郭ループなどのループパスを含み得る。ループパスは、開始した場所と同じ場所で終了する。要素には、外部輪郭ループのセクションを含めることもできる。外部輪郭ループのセクションは、輪郭に隣接するパーティション間のリンクパスを提供する

10

【 0 1 1 4 】

ステップ 4 0 5 i i で、各層領域について、複数の可能な充填パスオプションが決定される。各パスオプションには、開始点と終了点が関連付けられており、オプションで優先または事前定義された充填戦略がある。輪郭パスセクションなどの要素にも、可能な開始点と終了点のリストがある。

【 0 1 1 5 】

図 4 d は、それぞれ 2 つの層のいずれかにある 3 つの要素で作成された隣接グラフの例を示している。実際には、各層内にはさらに多くの層と要素がある。各要素は、指定されたラスタラインの方向や輪郭パスに沿った方向などの制約内で、さまざまな方法で実行できる。各パスオプションには、開始点と終了点がある。可能な開始点と対応する終了点のリストは、要素ごとに組み立てることができる。次に、ある要素の終了点と別の要素の開始点との間のユークリッド距離に基づいて、隣接性のテストを行うことができる。

20

【 0 1 1 6 】

ステップ 4 0 5 i i i で、構造内の他の要素の上または下に部分的または全体的に位置する要素に基づいて、各要素の優先度グラフが決定される。基礎となるすべての要素が完了するまで、要素は実行されない。ただし、特定の層のすべての領域が完了する前に、特定の層の上の層のさまざまな領域が完了する場合がある。このようにして、ツールパス戦略を層ごとの完了に制限しない部分的な層完了アプローチに従う。

30

【 0 1 1 7 】

図 4 e は、3 つのパーティションの同じセットに適用される可能性のある優先度グラフを示している。グラフは、層 n の要素 E_2 が層 $n + 1$ の E_3 より部分的または全体的に下にあるのに対し、層 n の E_1 はそうではないことを示している。したがって、 E_3 を実行する前に、 E_2 がすでに完了していることを確認するためのチェックを実行する必要がある。 E_1 にはそのような制約はない。

【 0 1 1 8 】

ステップ 4 0 5 i v で、ツールパスにおける要素実行の順序が決定され、各層領域のインフィルオプションの選択が決定される。この決定は、次の要件に基づいていても良い。

40

a) 各要素は 1 回だけ実行される。

b) 実行の順序は、ステップ 4 0 5 i i i の間に優先度グラフで決定された優先順位関係に従う。そして、

c) シーケンス内の現在の要素の終了点が、現在の要素の開始点に隣接している。

【 0 1 1 9 】

図 4 f は、図 1 1 に示した正方形の領域の層 n を示しており、4 つの要素に分割する方法を示している。 E_{1n} 、 E_{2n} 、および E_{3n} の 3 つの要素は、外部輪郭ループパスを構成する。ポイント 2 と 3 の太い線は、輪郭パスがセクションに分割されている場所を示している。 E_{1n} は層の開始点 (1) からポイント 2 に伸び、 E_{2n} はポイント 2 から 3 に伸び、 E_{3n} はポイント 3 から輪郭の終了点 4 に伸びる。 E_{4n} は、ポイント A からポイ

50

ントBまでのラスタパターンを使用して塗りつぶされていることが示されている正方形の内側の領域である。E 4_nの別の充填オプションは、同じパスを逆方向に、ポイントBからポイントAまでトラバースすることである。層n + 1は、層nと形状が同じであり、E 1_{n+1}、E 2_{n+1}、E 3_{n+1}、およびE 4_{n+1}で示される同等の要素を持つ。

【0120】

例として、終了点/開始点の隣接性の要件は、E 4_nがE 1_nに続く可能性があるが、その逆はできないことを示している。E 4のパスの方向が逆になっている場合、つまりポイントBからポイントAにある場合、E 4_nはE 1_nに従わない可能性がある。

【0121】

この要素セットの優先順位マトリックスを以下の表1に示す。表1は、たとえば、E 1_nは真下にあるため、E 1_nが実行されるまでE 1_{n+1}を実行できないことを示している。

10

【0122】

【表1】

	E1 _n	E2 _n	E3 _n	E4 _n	E1 _{n+1}	E2 _{n+1}	E3 _{n+1}	E4 _{n+1}
E1 _n	0	0	0	0	0	0	0	0
E2 _n	0	0	0	0	0	0	0	0
E3 _n	0	0	0	0	0	0	0	0
E4 _n	0	0	0	0	0	0	0	0
E1 _{n+1}	1	0	0	0	0	0	0	0
E2 _{n+1}	0	1	0	0	0	0	0	0
E3 _{n+1}	0	0	1	0	0	0	0	0
E4 _{n+1}	0	0	0	1	0	0	0	0

20

【0123】

隣接性と優先順位の両方を考慮に入れると、図11に示されているこの問題の解決策には、次のような要素の順序がある。E 1_n、E 4_n、E 4_{n+1}、E 2_n、E 3_n、E 1_{n+1}、E 2_{n+1}、E 3_{n+1}。E 4_nのパスオプションはAからBの方向に進み、E 4_{n+1}のパスオプションはBからAの方向に進む。

30

【0124】

ステップ405 i から405 i v に従うことにより、各頂点を正確に1回訪問する優先度グラフ内のパスを表すハミルトン閉路を決定することができる。

【0125】

構造のすべての層領域のすべてのツールパスセクションが完了すると、それらが組み合わされて単一のツールパスが定義される。好ましい実施形態では、各層領域に採用されるツールパス戦略は、エンドツールパスが連続的であり、パスの他のセクションと交差しないように定義される。ただし、ツールパスは、次のような他のパラメータを最適化するように定義できることが理解されよう。

40

- ・印刷ヘッドが材料を印刷していない時間を最小限に抑えることにより、3次元構造を形成するための印刷時間を最適化する。
- ・3次元構造の形成中に、ツールパスに沿った印刷ツールジャンプの数を最小限に抑える。ジャンプは、開始点と終了点との間に十分な距離があり、印刷ヘッド114からの材料の流れを一時的に停止しなければならない場合に発生する。
- ・ツールパスに沿ったパスの交差の数を最小限に抑える。パスの交差により、材料の供給が停止されていない場合、不要な追加の材料が構造に堆積する可能性がある。この追加の

50

材料は、通常、追加の層を堆積する前、またはすべての層を堆積した後に、ファイリングまたはシェーピングプロセスによって個別に除去する必要がある。

- ・外部輪郭で囲まれた領域を離れるパスの数を最小限に抑える。つまり、3Dモデルの外側に「描画」する。たとえば、図12aおよび図12bの対角線は、製造対象のオブジェクトの外部輪郭を離れるパスを表している。せいぜい、これらの外部パスは材料の浪費を引き起こし、最悪の場合、それらは下層への望ましくない堆積をもたらす。

- ・3次元構造を形成するために使用される印刷材料の量を最小限に抑える。連続的で交差しないパスは、最小限の必要な印刷材料を提供する。しかしながら、そのような連続的で交差しないパスが不可能である場合（例えば、複雑な構造が形成される場合）、異なる量の印刷材料を必要とする異なるパスオプションが利用可能である可能性がある。

- ・印刷ツールの数と程度を最適化すると、ツールパスに沿って回転する。ツールパスの鋭い回転には、印刷ヘッドのより高い加速またはより遅い動きのいずれかが必要である。前者は材料の堆積プロセスに悪影響を与える可能性があり、後者は印刷時間が長くなる可能性がある。

- ・印刷プロセス全体を通して、構造のさまざまな領域に印刷プロセスを分散する。構造の1つの局所領域を過度に印刷すると、過熱が発生し、最終製品に構造の変形や弱点が生じる可能性がある。

- ・特にZ方向（構築方向）で、構築（build）全体の強度を高めるために、いくつかの層交差を最適化する。各層をより多くのより細かいパーティションに分割し、層間の遷移を使用してそれらを完全に連続したパスに接続することにより、層の交差の数を増やすことができる。

【0126】

図13aは、図5の矢印形状の物体500を製造するための連続パスを示している。図13aは、6つの層を示し、隣接する層間の遷移の位置を示している。図13bは、図13aの層の1つに対するラスタースタイルのツールパス充填戦略を示している。ここで、ドットは隣接する層への、または層からの遷移を示す。

【0127】

3次元構造が体積サブ領域に分割されている場合、構造全体のツールジャンプの数を最小化してサブ領域の数と等しくすることができる。サブ領域は、スライス後に各層に正確に1つの外部輪郭が存在するように正しく選択する必要がある。

【0128】

ステップ403で複数のポリウム構造に分割されたより複雑な構造については、ステップ404および405が各ポリウム構造に対して繰り返される。

【0129】

図4aに戻ると、最後に、ステップ406で、定義されたツールパスに基づいて印刷ツール制御アルゴリズムが生成される。アルゴリズムは、印刷ヘッド114を制御してツールパスに沿って移動して3次元構造を形成するための一連の制御コマンドを含む。このアルゴリズムは、制御コンピュータ118および制御信号120、122、および124として送信される制御コマンドによって実行され、ロボットアーム104および116およびスプレーガン102を介して印刷プロセスを実行することができる。

【0130】

ステップ406で出力されるアルゴリズムは、積層造形を実行するためのロボットプログラムである。特定のロボットシステムに応じて、Gコード（G-code、コンピュータ数値制御 - CNCコード）またはその他の言語で記述される場合がある。たとえば、ABBロボティクス（ABB Robotics）によって開発されたロボットは、RAPIDと呼ばれるABB独自のプログラミング言語で実行される。

【0131】

以下は、方法400によって作成されたRAPIDロボットプログラムの最初の行である。方法400は、他のプログラミング言語、例えば、Gコード（G-code）で出力するために使用することができる。

10

20

30

40

50

【 0 1 3 2 】

【 表 2 】

```

! RAPID code created from arrow.STL
!
! Fixed parameters:
! Layer height 3.0 mm
! Line spacing 2.0 mm
! Nozzle angle for contour passes 20.0 degrees

! Variable declaration:
VAR speeddata vcontour := [50.0, 500, 5000, 500 ];
VAR speeddata vfill := [50.0, 500, 5000, 500 ];
VAR speeddata vskip := [100.0, 500, 5000, 500 ];
VAR zonedata zcustom := [ FALSE, 2.5, 40, 40, 10, 35, 5 ];

! Layer 1
MoveL RelTool[offs(plate_top_left, 0.0, 0.0, -0.0),0,0,0 \Rx:=0\Ry:=0\Rz:=0], vcontour, zcustom, tPGgun_stationary\WObj:=wobj_plate;
MoveL RelTool[offs(plate_top_left, 79.76, 69.12, -0.0),0,0,0 \Rx:=1.42\Ry:=19.95\Rz:=0], vcontour, zcustom,
tPGgun_stationary\WObj:=wobj_plate;
MoveL RelTool[offs(plate_top_left, 104.55, 40.52, -0.0),0,0,0 \Rx:=1.42\Ry:=19.95\Rz:=0], vcontour, zcustom,
tPGgun_stationary\WObj:=wobj_plate;
MoveL RelTool[offs(plate_top_left, 105.0, 40.92, -0.0),0,0,0 \Rx:=0\Ry:=0\Rz:=0], vfill, zcustom, tPGgun_stationary\WObj:=wobj_plate;
MoveL RelTool[offs(plate_top_left, 106.73, 42.92, -0.0),0,0,0 \Rx:=0\Ry:=0\Rz:=0], vfill, zcustom, tPGgun_stationary\WObj:=wobj_plate;
MoveL RelTool[offs(plate_top_left, 103.27, 42.92, -0.0),0,0,0 \Rx:=0\Ry:=0\Rz:=0], vfill, zcustom, tPGgun_stationary\WObj:=wobj_plate;
MoveL RelTool[offs(plate_top_left, 101.53, 44.92, -0.0),0,0,0 \Rx:=0\Ry:=0\Rz:=0], vfill, zcustom, tPGgun_stationary\WObj:=wobj_plate;
MoveL RelTool[offs(plate_top_left, 108.47, 44.92, -0.0),0,0,0 \Rx:=0\Ry:=0\Rz:=0], vfill, zcustom, tPGgun_stationary\WObj:=wobj_plate;
MoveL RelTool[offs(plate_top_left, 110.2, 46.92, -0.0),0,0,0 \Rx:=0\Ry:=0\Rz:=0], vfill, zcustom, tPGgun_stationary\WObj:=wobj_plate;
MoveL RelTool[offs(plate_top_left, 99.8, 46.92, -0.0),0,0,0 \Rx:=0\Ry:=0\Rz:=0], vfill, zcustom, tPGgun_stationary\WObj:=wobj_plate;

```

10

20

【 0 1 3 3 】

方法 4 0 0 は、積層造形プロセスを実行するための最初の手順を形成することが理解されよう。これに関して、本開示の一態様は、付加造形プロセスにおいてシステム 1 0 0 などの印刷ツールを制御する方法に関する。この方法には次のものが含まれる。

a) 制御コンピュータ 1 1 8 などのコンピュータプロセッサによって、方法 4 0 0 によって生成された印刷ツール制御アルゴリズムを実行する。そして、

b) 印刷ツール制御アルゴリズムに応答して、電気信号（例えば、信号 1 2 0、1 2 2、および 1 2 4）を生成して、定義されたツールパスに沿って移動して事前定義された 3 次元構造を形成するように印刷ツールを制御する。

30

【 0 1 3 4 】

印刷ヘッド 1 1 4 の位置および流れを単に制御することに加えて、印刷ツール制御アルゴリズムはまた、異なる構築層または層領域にわたって 1 つまたは複数の構築パラメータを変更するための命令を含み得る。例えば、印刷ヘッド 1 1 4 の線間隔および / または動き（例えば、最小速度または最大加速度）は、1 つまたは複数の層領域間で変化するように制御され得る。これらのパラメータは印刷プロセス中に変更される可能性があるが、パラメータを変更する時期と場所の決定は事前定義されており、印刷開始前のツールパス計画プロセスで設定される。

【 0 1 3 5 】

方法 4 0 0 は、制御コンピュータ 1 1 8 などのコンピュータによって実行されると、コンピュータに方法 4 0 0 を実行させる命令を含むコンピュータプログラムとして実装され得ることが理解されよう。方法 4 0 0 はまた、コンピュータ可読記憶媒体に記憶された一組の命令として具体化され得る。記憶媒体がコンピュータ（制御コンピュータ 1 1 8 など）とインターフェースされるとき、命令は、コンピュータに方法 4 0 0 を実行させるためにコンピュータによって実行され得る。

40

【 0 1 3 6 】

上記の開示は、隣接する層の間の複数の遷移を可能にし、連続的なツールパスを達成するための順次層完了の以前の制限を取り除く、現在利用可能なものよりも洗練されたツールパス戦略を提供する。少なくとも 1 つの下位構築層のすべての層領域を塗りつぶす前に

50

、構築方向に沿って上位構築層の1つ以上の層領域を塗りつぶすことにより、3次元構造を埋めるツールパスを定義できる。つまりこれにより、層nが完全に埋められる前に、層n+1またはn+2などに材料を配置できる。

【0137】

さらに、層スライスの前にオブジェクトをサブボリュームに分割して、それぞれを連続して印刷できるサブコンポーネントの問題を減らすことができる。さらに、ボリュームサブディビジョンでは複数の構築方向が可能であるため、構築中にパーツを任意の方向に保持するロボットの機能を利用できる。

【0138】

マルチ材料構築の場合、ボリューム分割アルゴリズムと非平面スライスの組み合わせが、1つの材料コンポーネントの印刷の連続性を最大化するために、つまり、相互接続されたマルチ材料構築内のある材料から別の材料への切り替えの数を減らすために、使用される可能性が得る。

10

【0139】

(アローコールドスプレーの例)

図に示す矢印形状を生成するためのツールパスの例は、コールドスプレー金属蒸着を使用して実際に実証された。プラズマ技研PCS-1000L高圧コールドスプレーシステムを使用して、200×200×6mmアルミニウム構築プレートにアルミニウムをスプレーした。構築プレートがABBIRB4600ロボットアームによってノズルの前に移動している間、コールドスプレーガンは静止していた。

20

【0140】

ツールパスプランニングアルゴリズムはPythonで作成された。矢印STLファイルは0.5mmの層高さでスライスされた。連続パスの問題は、二重層戦略を使用して解決された。ラスタパターンの塗りつぶしパターンは、2mmのライン間隔で使用され、ラスタ角度は2層ごとに90°回転した。50mm/sの工具速度を使用した。ツールパスを計算した後、PythonプログラムはABBRAPIDモジュールファイルを出力した。このファイルは、後でABBRobotStudioソフトウェアで開かれた。

【0141】

コールドスプレーの前に、コールドスプレー材料の接着性を向上させるために、アルミニウム構築プレートにグリットブラストを施した。コールドスプレー粉末フィーダーには、平均粒子サイズ36.1μmの純アルミニウム粉末が充填され。加速ガスとして窒素ガスを使用した。コールドスプレーガスの設定は次の通りである。400および4.0MPa。ノズル出口と構築面間のスタンドオフ距離は30mmに維持された。合計構築時間は約20分だった。

30

【0142】

図13cは、完成した構造を示しており、矢印の領域の外側の構築プレートにアルミニウムが堆積していないことを示している。さらに、構築(build)の上面はほぼ平坦であり、粉末供給の変動によるある程度の高さの変動を考慮に入れた。これは、部分的なレイヤーの完成を実装するツールパス計画アルゴリズムが、パーツのすべての領域を均等に埋めることに成功したことを示している。ツールパスにオーバーラップ、繰り返しパスセクション、またはある場所から別の場所への交差が含まれている場合、矢印はオーバービルド(overbuilt)およびアンダービルド(underbuilt)の機能を示していたであろう。

40

【0143】

(解釈)

本明細書(特許請求の範囲を含む)において「備える(comprise)」、「備える(comprises)」、「備えられた(comprised)」または「備えている(comprising)」という用語のいずれかまたはすべてが使用される場合、それらは、記載された特徴、整数、ステップ、またはコンポーネント。ただし、1つ以上の他の機能、整数、ステップ、またはコンポーネントの存在を排除するものではない。

【0144】

50

本明細書における「コンピュータ」などの用語の使用は、電子データを、例えば、レジスタおよび/またはメモリに格納され得る他の電子データに変換するために、たとえば、レジスタやメモリから、電子データを処理する、任意のデバイスまたはデバイスの一部を指す場合がある。「コンピュータ」または「コンピューティングマシン」または「コンピューティングプラットフォーム」は、1つまたは複数のプロセッサを含み得る。

【0145】

さらに、コンピュータは、スタンドアロンデバイスとして動作するか、または、例えば、他のプロセッサおよび/またはコンピュータにネットワーク接続され得る。ネットワーク展開では、コンピュータは、サーバーユーザネットワーク環境ではサーバーまたはユーザマシンの容量で動作する場合があり、ピアツーピアまたは分散ネットワーク環境ではピアマシンとして動作する場合がある。コンピュータは、パーソナルコンピュータ(PC)、タブレットPC、セットトップボックス(STB)、携帯情報端末(PDA)、携帯電話、Webアプライアンス、ネットワークルーター、スイッチまたはブリッジ、または、そのマシンによって実行されるアクションを指定する一連の命令(シーケンシャルまたはその他)を実行できるマシンを形成し得る。

【0146】

本明細書全体を通して「一実施形態」、「いくつかの実施形態」または「実施形態」への言及は、実施形態に関連して説明される特定の特徴、構造または特性が、本開示の少なくとも1つの実施形態および潜在的に複数の実施形態に含まれることを意味する。したがって、本明細書全体の様々な場所での「一実施形態において」、「いくつかの実施形態において」または「実施形態において」という句の出現は、必ずしもすべてが同じ実施形態を指すとは限らない。さらに、特定の特徴、構造または特徴は、1つまたは複数の実施形態において、本開示から当業者に明らかであるように、任意の適切な方法で組み合わせることができる。

【0147】

さらに、本明細書に記載のいくつかの実施形態は、他の実施形態に含まれる他の特徴ではなくいくつかを含むが、異なる実施形態の特徴の組み合わせは、当業者によって理解されるように、本開示の範囲内にあり、異なる実施形態を形成することを意味する。例えば、以下の特許請求の範囲では、請求項に記載の実施形態のいずれかを任意の組み合わせで使用することができる。

【0148】

本明細書で使用される場合、共通のオブジェクトを説明するための序数形容詞「第1」、「第2」、「第3」などの使用が特に明記されない限り、同様のオブジェクトの異なるインスタンスが参照されていることを示すだけであり、そのように記述されたオブジェクトは、時間的、空間的、ランク付け、またはその他の方法で、特定の順序である必要があることを意味することを目的としている。このように、本明細書に記載の方法がいくつかのステップを含む場合、特に明記しない限り、そのような要素の順序付けは暗示されない。

【0149】

したがって、本開示の好ましい実施形態および用途であると考えられるものが記載されているが、当業者は、本開示の精神から逸脱することなく、他のさらなる修正を加えることができることを認識するであろう。そして、それは、開示の範囲内にあるようなすべてのそのような変更および修正を主張することを意図している。たとえば、上記の式は、使用できる手順の代表的なものにすぎない。ブロック図に機能を追加または削除したり、機能ブロック間で操作を交換したりできる。本開示の範囲内で説明される方法に、ステップを追加または削除することができる。

10

20

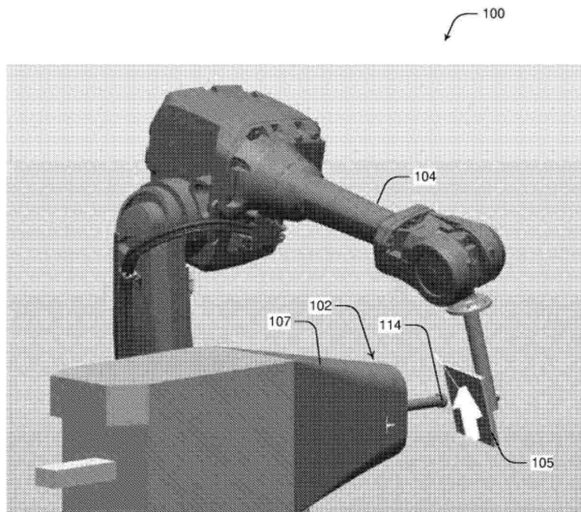
30

40

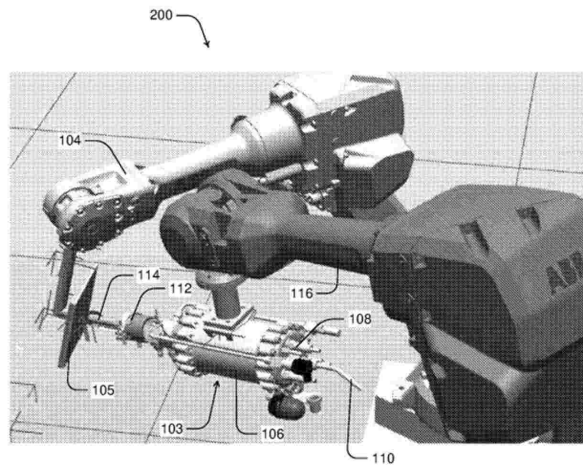
50

【図面】

【図 1】

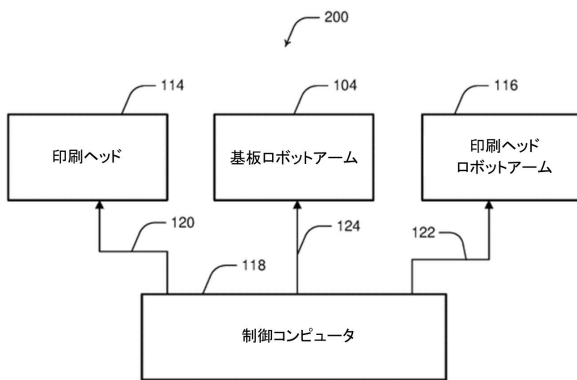


【図 2】

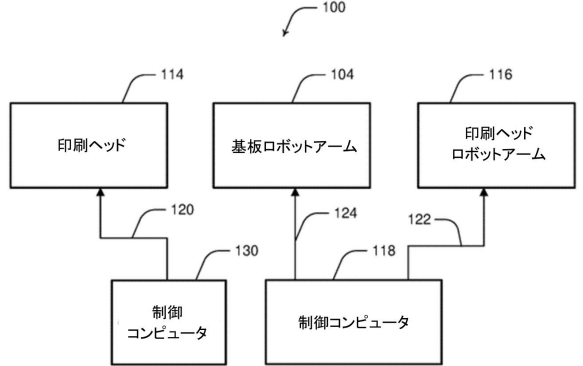


10

【図 3 a】



【図 3 b】



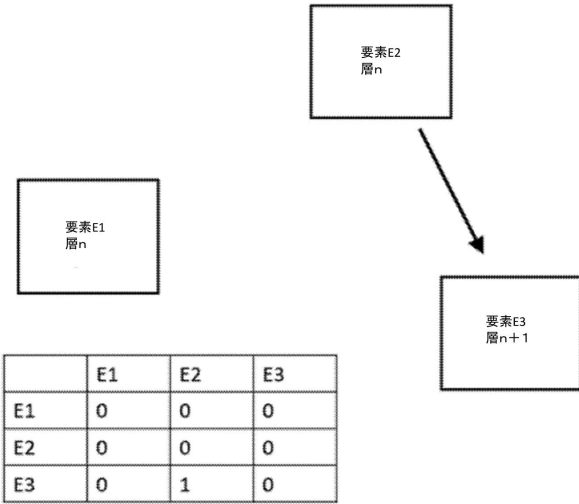
20

30

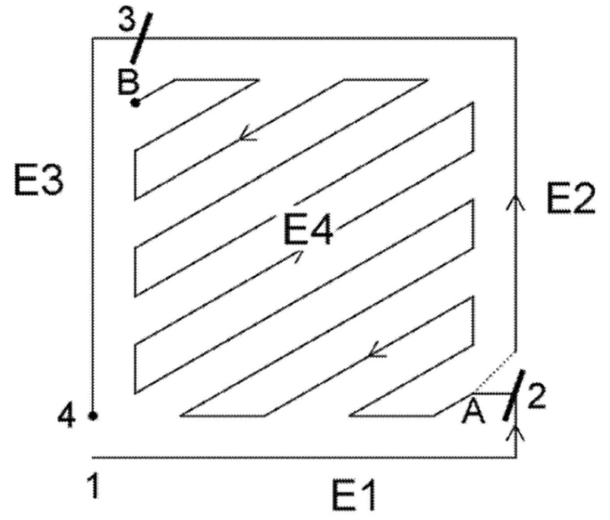
40

50

【 図 4 e 】

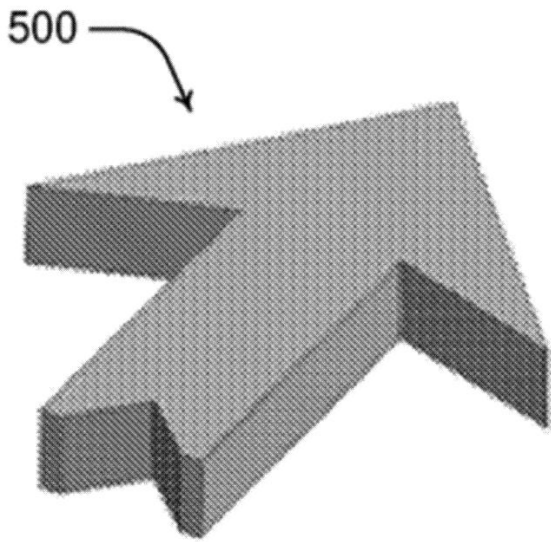


【 図 4 f 】

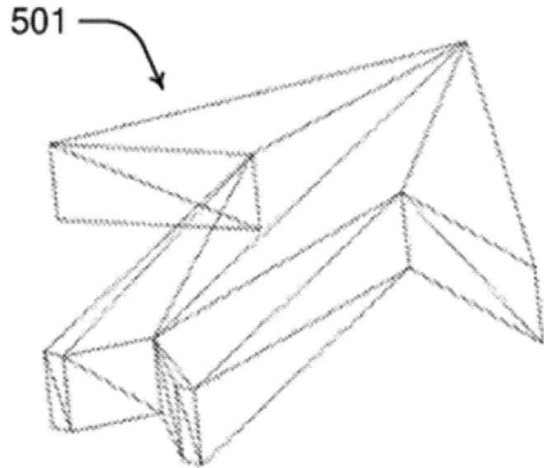


10

【 図 5 a 】



【 図 5 b 】



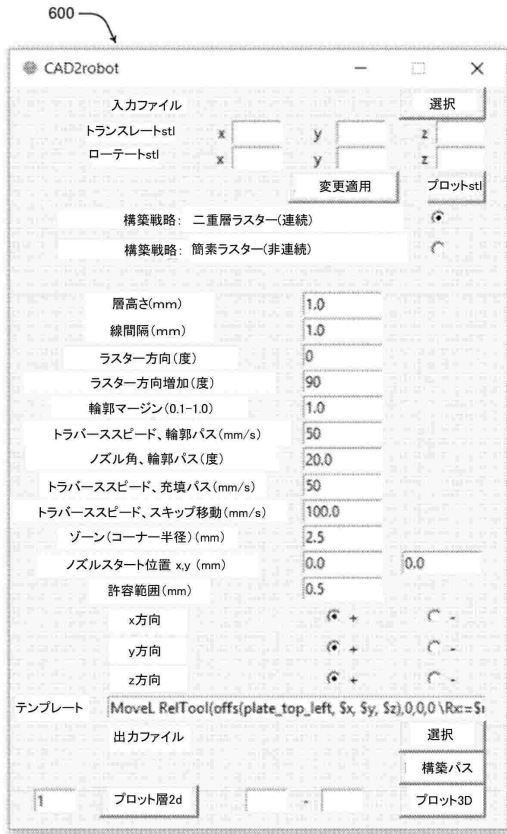
20

30

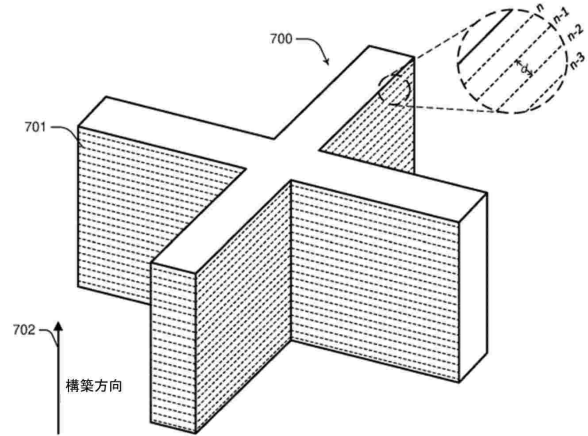
40

50

【図6】



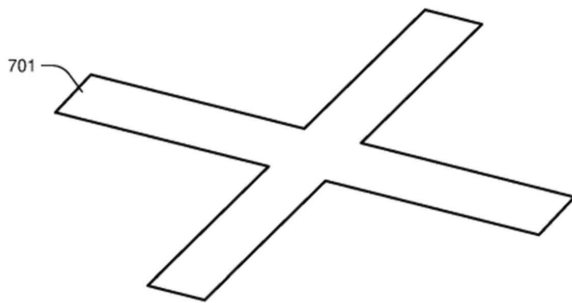
【図7a】



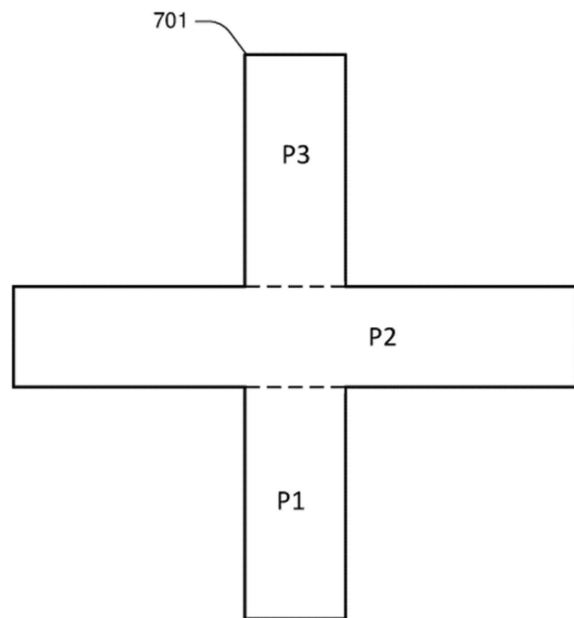
10

20

【図7b】



【図8】

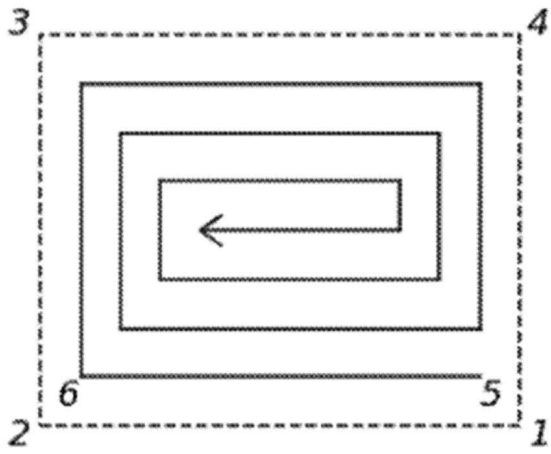


30

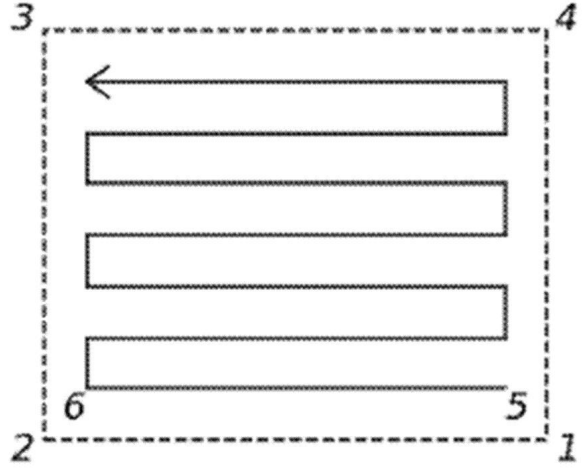
40

50

【図 9 a】

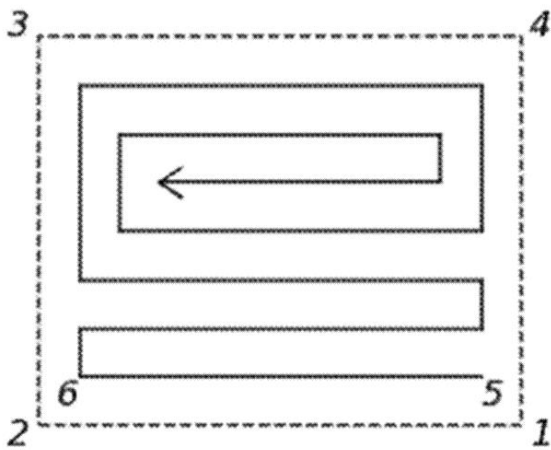


【図 9 b】

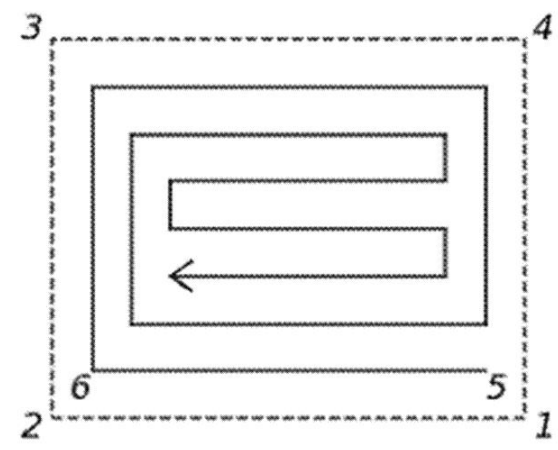


10

【図 10 a】



【図 10 b】



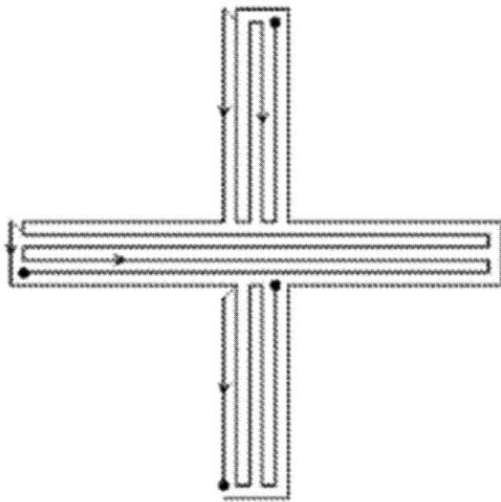
20

30

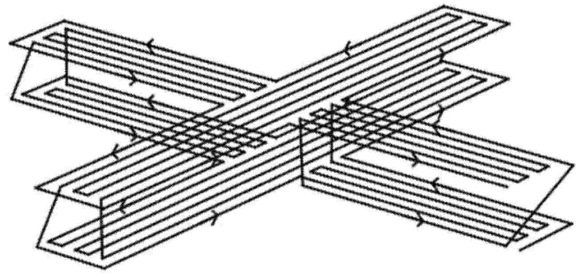
40

50

【 1 2 c 】

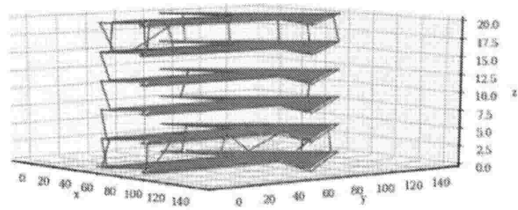


【 1 2 d 】

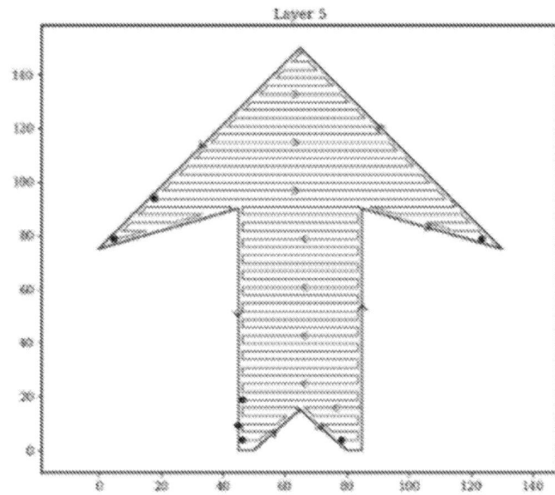


10

【 1 3 a 】



【 1 3 b 】



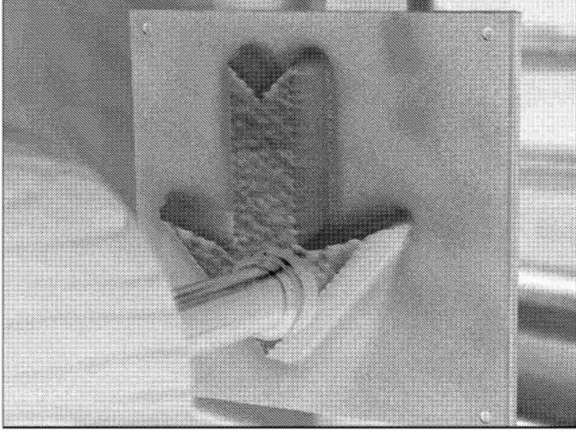
20

30

40

50

【 1 3 c】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

B 3 3 Y 30/00 (2015.01) B 3 3 Y 30/00
B 3 3 Y 50/00 (2015.01) B 3 3 Y 50/00

(72)発明者 バルガス ウスカテギ, アレハンドロ

オーストラリア 3 1 6 9 ビクトリア州クレイトン・サウス、プライベート・バッグ 1 0

審査官 坂本 薫昭

(56)参考文献

特表 2 0 1 8 - 5 2 6 5 3 5 (J P , A)
特開 2 0 1 9 - 1 1 6 1 0 4 (J P , A)
特開 2 0 1 9 - 1 5 1 1 1 9 (J P , A)
特表 2 0 2 0 - 5 2 7 4 7 5 (J P , A)
国際公開第 2 0 1 8 / 0 3 9 2 6 0 (W O , A 1)
国際公開第 2 0 1 8 / 2 1 7 9 0 3 (W O , A 1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

B 2 2 F 1 0 / 8 5
B 2 9 C 6 4 / 2 0 9 , 6 4 / 2 2 7 , 6 4 / 3 8 6
B 3 3 Y 1 0 / 0 0 , 3 0 / 0 0 , 5 0 / 0 0