

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号  
特許第6985131号  
(P6985131)

(45) 発行日 令和3年12月22日 (2021. 12. 22)

(24) 登録日 令和3年11月29日 (2021. 11. 29)

(51) Int. Cl.

F I

GO 6 F 30/10 (2020. 01)

GO 6 F 30/10

B 3 3 Y 50/00 (2015. 01)

B 3 3 Y 50/00

GO 6 F 113/10 (2020. 01)

GO 6 F 113:10

請求項の数 15 外国語出願 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2017-244193 (P2017-244193)	(73) 特許権者	500102435
(22) 出願日	平成29年12月20日 (2017. 12. 20)		ダッソー システムズ
(65) 公開番号	特開2018-106713 (P2018-106713A)		DASSAULT SYSTEMES
(43) 公開日	平成30年7月5日 (2018. 7. 5)		フランス国 7 8 1 4 0 ペリジー ビラ
審査請求日	令和2年11月10日 (2020. 11. 10)		クブレー リュ マルセル ダッソー 1
(31) 優先権主張番号	16306813.3		O
(32) 優先日	平成28年12月23日 (2016. 12. 23)	(74) 代理人	110001243
(33) 優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁 (EP)		特許業務法人 谷・阿部特許事務所
		(72) 発明者	ロマン ノセンツォ
			フランス 1 3 1 0 0 エクス アン プ
			ロヴァンス ビス リュ デ ラ モレ
			2

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 2軸3Dプリンティングプロセスの結果のB-R e p

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

2軸3Dプリンティングプロセスの結果の境界表現 (B - R e p) を決定するためのコンピュータ実装方法であって、

平面のスタック ( ( 0 , z<sub>1</sub> , z<sub>2</sub> , . . . , z<sub>m</sub> ) ) を提供するステップ ( S 1 0 ) であって、連続的な平面の各対 ( [ z<sub>i</sub> , z<sub>i+1</sub> ] ) は前記 3 D プリンティングプロセスの前記結果のそれぞれのスライスに対応する、ステップと、

連続的な平面の各対 ( [ z<sub>i</sub> , z<sub>i+1</sub> ] ) につき ( S 2 0 ) 、

1 つまたは複数のそれぞれのツール軌跡 ( T<sub>i</sub> ) を提供するステップ ( S 2 1 0 ) と、

前記 1 つまたは複数のツール軌跡に対応するそれぞれの 2 D 輪郭 ( C<sub>i</sub> ) を決定するステップ ( S 2 2 0 ) と、

前記対のうちの第 2 の平面 ( z<sub>i+1</sub> ) および前記対のうちの第 1 の平面 ( z<sub>i</sub> ) によって境界付けられる、前記それぞれの 2 D 輪郭のそれぞれの突出を決定するステップ ( S 2 3 0 ) と、

前記突出と前記平面の部分 ( R<sub>j</sub> ) とで前記 B - R e p を形成するステップ ( S 3 0 ) と

を含む方法。

【請求項 2】

前記 B - R e p を形成する前記平面の前記部分は、連続的な平面の第 1 の対 ( [ z<sub>i</sub> ,

$z_{i+1}]$  )のうちの第2の平面と、連続的な平面の第2の対 ( $[z_{i+1}, z_{i+2}]$  )のうちの第1の平面とである各平面 ( $z_{i+1}$  )につき、前記第1の対に対する前記2D輪郭 ( $C_i$  )の外部にあり前記第2の対に対する前記2D輪郭 ( $C_{i+1}$  )の内部にあるか、または、前記第1の対に対する前記2D輪郭 ( $C_i$  )の内部にあり前記第2の対に対する前記2D輪郭 ( $C_{i+1}$  )の外部にある、前記平面 ( $z_{i+1}$  )のそれぞれの領域 ( $R_j$  )に各々対応する面を含む請求項1に記載の方法。

#### 【請求項3】

前記第1の対に対する前記2D輪郭 ( $C_i$  )の内部にあり前記第2の対に対する前記2D輪郭 ( $C_{i+1}$  )の外部にある、前記平面 ( $z_{i+1}$  )のそれぞれの領域 ( $R_j$  )に対応する各面は、平面の前記スタックの方向の外側ベクトルを用いて設定され、前記第1の対に対する前記2D輪郭 ( $C_i$  )の外部にあり前記第2の対に対する前記2D輪郭 ( $C_{i+1}$  )の内部にある、前記平面 ( $z_{i+1}$  )のそれぞれの領域 ( $R_j$  )に対応する各面は、平面の前記スタックの前記方向と反対の方向の外側ベクトルを用いて設定される請求項2に記載の方法。

10

#### 【請求項4】

平面の前記スタック ( $(0, z_1, z_2, \dots, z_m)$  )を提供するステップは、一連のツール軌跡と、各ツール軌跡につき層限界のそれぞれのペアとを提供するステップ ( $S5$  )と、前記一連のツール軌跡および層限界から平面の前記スタックを決定するステップ ( $S8$  )とを含む請求項1乃至3のいずれか一項に記載の方法。

20

#### 【請求項5】

平面の前記スタックを決定するステップは、前記層限界からすべての平面限界のセット ( $a_1, b_1, a_2, b_2, \dots, a_n, b_n$  )を決定するステップと、前記すべての平面限界のセット ( $a_1, b_1, a_2, b_2, \dots, a_n, b_n$  )を厳密にブロッグレスビナリスト ( $0 < z_1 < z_2 < \dots < z_m$  )にソートするステップとを含む請求項4に記載の方法。

#### 【請求項6】

前記突出と前記平面の前記部分とで形成された前記B - Repの分析のステップをさらに含む請求項1乃至5のいずれか一項に記載の方法。

30

#### 【請求項7】

平面の前記スタックを提供する前記ステップの前に、参照製品を表す3Dモデル化オブジェクトを提供するステップを含み、平面の前記スタックと、連続的な平面の各対に対する前記1つまたは複数のツール軌跡とは、前記参照製品を表す前記3Dモデル化オブジェクトに基づいて提供され、前記分析は、前記突出と前記平面の前記部分とで形成された前記B - Repと、前記参照製品を表す参照製品のB - Repとの間の比較を含む請求項6に記載の方法。

#### 【請求項8】

前記分析は、微小亀裂および／もしくは衝突の検出、ならびに／または物理的分析を含む請求項6または7に記載の方法。

40

#### 【請求項9】

前記突出と前記平面の前記部分とで形成された前記B - Repに対して、1つまたは複数のB - Rep設計動作を実施するステップをさらに含む請求項1乃至8のいずれか一項に記載の方法。

#### 【請求項10】

前記突出と前記平面の前記部分とで形成された前記B - Repの、リアルタイム表示および／またはストリーミングのステップを含む請求項1乃至9のいずれか一項に記載の方法。

#### 【請求項11】

50

前記突出と前記平面の前記部分とで形成された前記 B - R e p に、前記 2 軸 3 D プリンティングプロセスに関係する 1 つまたは複数の属性を追加するステップをさらに含む請求項 1 乃至 1 0 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 1 2】

前記 2 軸 3 D プリンティングプロセスを適用して、前記 B - R e p によって表される製品を製造するステップをさらに含む請求項 1 乃至 1 1 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 1 3】

請求項 1 乃至 1 1 のいずれか一項に記載の方法を実施するための命令を含むコンピュータプログラム。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載のコンピュータプログラムを記録したコンピュータ可読データ記憶媒体。

【請求項 1 5】

請求項 1 3 に記載のコンピュータプログラムを記録したメモリに結合されたプロセッサを備えるシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、コンピュータプログラムおよびシステムの分野に関し、より詳細には、2 軸 3 D プリンティングプロセスの結果の境界表現 ( B - R e p ) を決定するための、かつ / または B - R e p を参照 ( 製造 ) 製品 ( 例えばターゲット部品 ) の 3 D モデル化オブジェクト表現と比較するための、方法、システム、およびプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

オブジェクトの設計、エンジニアリング、および製造のための、多くのシステムおよびプログラムが市販されている。C A D は、C o m p u t e r - A i d e d D e s i g n ( コンピュータ援用設計 ) の頭字語であり、例えばこれは、オブジェクトを設計するためのソフトウェアソリューションに関係する。C A E は、C o m p u t e r - A i d e d E n g i n e e r i n g ( コンピュータ援用エンジニアリング ) の頭字語であり、例えばこれは、未来の製品の物理的挙動をシミュレートするためのソフトウェアソリューションに関係する。C A M は、C o m p u t e r - A i d e d M a n u f a c t u r i n g ( コンピュータ援用製造 ) の頭字語であり、例えばこれは、製造プロセスおよび動作を定義するためのソフトウェアソリューションに関係する。このようなコンピュータ援用設計システムでは、グラフィカルユーザインタフェースが、技法の効率に関して重要な役割を果たす。これらの技法は、製品ライフサイクル管理 ( P L M ) システム内に組み込まれることがある。P L M は、拡張された企業概念にわたって、製品の構想からその寿命の終わりまで、製品の開発のために会社が製品データを共有し、共通プロセスを適用し、法人知識を活用することを助けるビジネス戦略を指す。ダッソーシステムズ ( Dassault Systemes ) によって ( 商標 C A T I A 、 E N O V I A 、 および D E L M I A の下で ) 提供される P L M ソリューションは、製品エンジニアリング知識を組織化するエンジニアリングハブと、製造エンジニアリング知識を管理する製造ハブと、企業統合、およびエンジニアリングハブと製造ハブの両方への接続を可能にする企業ハブと、を提供する。全部合わせて、システムは、製品、プロセス、リソースをリンクして動的な知識ベースの製品作成および決定サポートを可能にする、オープンオブジェクトモデルを送達し、これは、最適化された製品定義、製造準備、生産、およびサービスを推進する。

【0003】

3 次元 ( 3 D ) プリンティングは、これらのシステムおよびプログラムを利用することができる。3 D プリンティングは、付加製造としても知られ、現実のオブジェクトを合成するのに使用される様々なプロセスを指す。3 D プリンティングでは、連続する材料層がコンピュータ制御下で形成されて、現実のオブジェクトが作成される。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 4 】

このコンテキスト内で、3Dプリンティングを改善する必要がある。

## 【発明の概要】

## 【 0 0 0 5 】

したがって、2軸3Dプリンティングプロセスの結果のB-Repを決定するための、コンピュータ実装方法が提供される。本方法は、平面のスタックを提供することを含む。連続的な平面の各対は、3Dプリンティングプロセスの結果のそれぞれのスライスに対応する。本方法はまた、連続的な平面の各対につき実施されるスキームを含む。スキームは、1つまたは複数のそれぞれのツール軌跡を提供することを含む。スキームはまた、1つまたは複数のツール軌跡に対応するそれぞれの2D輪郭を決定することを含む。スキームはまた、対のうちの第2の平面および対のうちの第1の平面によって境界付けられる、それぞれの2D輪郭のそれぞれの突出を決定することを含む。本方法はまた、突出と平面の部分とでB-Repを形成することを含む。

10

## 【 0 0 0 6 】

本方法は、以下のうちの1つまたは複数を含むことができる。

- B-Repを形成する平面の部分は、連続的な平面の第1の対のうちの第2の平面と、連続的な平面の第2の対のうちの第1の平面とである各平面につき、第1の対に対する2D輪郭の外部にあり第2の対に対する2D輪郭の内部にあるか、もしくは、第1の対に対する2D輪郭の内部にあり第2の対に対する2D輪郭の外部にある、平面のそれぞれの領域に各々対応する面を含む；

20

- 第1の対に対する2D輪郭の内部にあり第2の対に対する2D輪郭の外部にある、平面のそれぞれの領域に対応する各面は、平面のスタックの方向の外側ベクトルを用いて設定され、第1の対に対する2D輪郭の外部にあり第2の対に対する2D輪郭の内部にある、平面のそれぞれの領域に対応する各面は、平面のスタックの方向と反対の方向の外側ベクトルを用いて設定される；

- 平面のスタックを提供することは、一連のツール軌跡と、各ツール軌跡につき層限(layer limit)界のそれぞれのペアとを提供すること、および、一連のツール軌跡および層限界から平面のスタックを決定することを含む；かつ/または、

- 平面のスタックを決定することは、層限界からすべての平面限界のセットを決定し、すべての平面限界のセットを厳密にプログレッシブなリストにソートすることを含む。

30

## 【 0 0 0 7 】

さらに、本方法によって取得可能なB-Repを含むデータ構造が提供される。

## 【 0 0 0 8 】

さらに、データ構造を提供することを含むプロセスが提供されるが、これは例えば、本方法を実施し、次いで以下のうちの任意の1つまたは任意の組合せを実施することによって、行われる。

- 本方法は、突出と平面の部分とで形成されたB-Repの分析をさらに含む；
- 本方法は、平面のスタックを提供する前に、参照製品を表す3Dモデル化オブジェクトを提供することを含む。平面のスタックと、連続的な平面の各対に対する1つもしくは複数のツール軌跡とは、参照製品を表す3Dモデル化オブジェクトに基づいて提供される。分析は、突出と平面の部分とで形成されたB-Repと、参照製品を表す参照製品のB-Repとの間の比較を含む；

40

- 分析は、微小亀裂および/もしくは衝突の検出、ならびに/または物理的分析を含む；

- 本方法は、突出と平面の部分とで形成されたB-Repに対して、1つもしくは複数のB-Rep設計動作を実施することをさらに含む；

- 本方法は、突出と平面の部分とで形成されたB-Repの、リアルタイム表示および/もしくはストリーミングをさらに含む；かつ/または、

- 本方法は、突出と平面の部分とで形成されたB-Repに、2軸3Dプリンティングプロセスに関係する1つもしくは複数の属性を追加することをさらに含む。

50

## 【 0 0 0 9 】

さらに、プロセスによって取得可能な B - R e p を含むデータ構造が提供される。

## 【 0 0 1 0 】

さらに、本方法および / またはプロセスによって取得可能なデータ構造を提供することを含む製造方法またはパイプラインが提供され、これは例えば、本方法および / またはプロセスを実施し、次いで、2 軸 3 D プリンティングプロセスを適用して、B - R e p によって表される製品を製造することによって、行われる。製造パイプラインは、本方法のいくつかのインスタンスを含むことができ、これらは、2 軸 3 D プリンティングプロセスインスタンスを拒否および / または有効化し、次いで、有効化された 2 軸 3 D プリンティングプロセスインスタンスを適用することを含む。

10

## 【 0 0 1 1 】

さらに、本方法、プロセス、および / または、製造パイプラインの制御、を実施するための命令を含むコンピュータプログラムが提供される。

## 【 0 0 1 2 】

さらに、コンピュータプログラムおよび / またはデータ構造が記録された、コンピュータ可読記録媒体が提供される。

## 【 0 0 1 3 】

さらに、データ記録媒体を含むメモリに結合されたプロセッサを備えるシステムが提供される。

## 【 図面の簡単な説明 】

20

## 【 0 0 1 4 】

次に、本発明の実施形態が、非限定的な例として、添付の図面に関して記述される。

【 図 1 】 本方法の例のフローチャートである。

【 図 2 】 従来のブール演算の問題を示す図である。

【 図 3 】 従来のブール演算の問題を示す図である。

【 図 4 】 本方法によって形成され得る B - R e p の例を示す図である。

【 図 5 】 本方法によって形成され得る B - R e p の例を示す図である。

【 図 6 】 本方法によって形成され得る B - R e p の例を示す図である。

【 図 7 】 本方法によって形成され得る B - R e p の例を示す図である。

【 図 8 】 本方法によって形成され得る B - R e p の例を示す図である。

30

【 図 9 】 本方法によって形成され得る B - R e p の例を示す図である。

【 図 1 0 】 本システムのグラフィカルユーザインタフェースの例を示す図である。

【 図 1 1 】 本システムの例を示す図である。

【 図 1 2 】 本方法を示す図である。

【 図 1 3 】 本方法を示す図である。

【 図 1 4 】 本方法を示す図である。

【 図 1 5 】 本方法を示す図である。

【 図 1 6 】 本方法を示す図である。

【 図 1 7 】 本方法を示す図である。

【 図 1 8 】 本方法を示す図である。

40

【 図 1 9 】 本方法を示す図である。

【 図 2 0 】 本方法を示す図である。

【 図 2 1 】 本方法を示す図である。

【 図 2 2 】 本方法を示す図である。

【 図 2 3 】 本方法を示す図である。

【 図 2 4 】 本方法を示す図である。

【 図 2 5 】 本方法を示す図である。

【 図 2 6 】 本方法を示す図である。

【 図 2 7 】 本方法を示す図である。

【 図 2 8 】 本方法を示す図である。

50

【図 29】本方法を示す図である。  
【図 30】本方法を示す図である。  
【図 31】本方法を示す図である。  
【図 32】本方法を示す図である。  
【図 33】本方法を示す図である。  
【図 34】本方法を示す図である。  
【図 35】本方法を示す図である。  
【図 36】本方法を示す図である。  
【図 37】本方法を示す図である。  
【図 38】本方法を示す図である。  
【図 39】本方法を示す図である。  
【図 40】本方法を示す図である。  
【図 41】本方法を示す図である。  
【図 42】本方法を示す図である。  
【図 43】本方法を示す図である。  
【図 44】本方法を示す図である。  
【図 45】本方法を示す図である。  
【図 46】本方法を示す図である。  
【発明を実施するための形態】

10

【0015】

20

図 1 のフローチャートに関して、3D プリンティングプロセスの結果の B - Rep を決定するためのコンピュータ実装方法が提案される。

【0016】

境界表現または B - Rep は、3D オブジェクトをその境界の観点から、さらには包絡線またはスキン（すなわちその外表面）の観点からモデル化するための、広く知られたフォーマットである。したがって、B - Rep は、幾何学的データおよび位相的データを含む場合のある特定のフォーマットのデータを示す。幾何学的データは、幾何学的エンティティを提供するデータであり、幾何学的エンティティは、3D 位置の観点から記述されたエンティティである。位相的データは、位相的エンティティを提供するデータであり、位相的エンティティは、幾何学的エンティティへの参照、ならびに / または、他の位相的エンティティとの関係（例えば、相対的な位置決めおよび近接関係）の観点から記述されたエンティティである。通常、これらの関係は、位相的エンティティを、それが位相的に境界付けられる他の位相的エンティティに関連付ける、「境界付けられる（is bounded by）」関係を含むことができる。B - Rep フォーマットは、例えば、欧州特許出願公開第 2808810 号明細書に、より詳細に記載されている。

30

【0017】

これにより、図 1 の方法は、3D プリンティングプロセスの結果の境界（すなわち包絡線）の表現を出力することによって、このような 3D プリンティングプロセスをシミュレートする。出力された境界は、例えば、分析、再加工、有効化、および / または機能シミュレーションを含めた、任意の操作を実施するために、例えばユーザもしくはチームに対して表示されることがあり、それによりユーザもしくはチームはこのような 3D プリンティングプロセスの物理的形状を視覚化することができ、かつ / または、立体の境界表現に基づく（任意選択で B - Rep フォーマットに基づく）任意のプロセス（手動、自動、さらには半自動の）に入力されることがある。

40

【0018】

図 1 の方法は製造プロセスに含められることもあり、製造プロセスは、方法（例えば、方法のいくつかのインスタンス）の実施後に物理的製品を生産することを含むことができる。製造は、3D プリンティングプロセス（例えば、方法のインスタンスのうちの基礎をなすインスタンス、例えば最後のインスタンス）の実行を含むことができる。物理的製品は、（例えば機械的な）部品であることがある。

50

## 【 0 0 1 9 】

図 1 の方法によって決定される B - R e p は、2 軸 3 D プリンティングプロセスの結果を具体的に表す。「2 軸 3 D プリンティングプロセス」という表現は、2 軸ツール経路に沿って動作する 3 D プリンティングツールを用いた任意の付加製造プロセスを示すものとして広く知られ、例えば、パウダーベッド 3 D プリンティング（ツールは、ミラーを任意選択で使用してパウダーを固めるレーザである）、樹脂を固める UV 光線エミッタを用いる光造形法、または、直接堆積 3 D プリンティング（ツールは、材料を出力するノズルである）である。レーザのコンテキストでは、レーザビームは、固定方向とすることができ、パウダーベッドの表面に対して直角（すなわち上から下に垂直）とすることができる。

## 【 0 0 2 0 】

2 軸 3 D プリンティングプロセスは、プリンティング方向に沿って製品を築き上げることができ、プリンティング方向は、直線であってよく、例えば垂直方向であってよい（例えば下から上へ）。プロセスは、材料層を積み上げることを含むことができる。材料層（または単に層）は、ここでは、3 D プリンティングツールの一続きの経路に沿って形成された、一定の厚さの、材料のモノリシックなピース（ツールはオンにされた状態に維持される）として定義される。所与の層を形成するための経路は、プリンティング方向に対して直角の平面において 2 D で定義され、したがって、所与の層もまた、プリンティング方向に対して直角である。各スタックは、プリンティング方向に沿う。レーザのコンテキストでは、プリンティング方向は、レーザビーム方向と反対である。

## 【 0 0 2 1 】

層は、種々の厚さを有することがある。また、異なる層が、同じ高さに、しかし異なる水平位置に位置することもある。2 軸 3 D プリントされた製品は、例えば異なるスタックにわたって共有される層によって全部一緒に接続された層のスタックのセットを含むことができ、したがって、製品はモノリシックな立体を形成する。3 D プリントされた製品は、1 0 0、2 0 0、5 0 0、または 1 0 0 0、さらには 1 0、0 0 0 を超える数の層を有することがある。

## 【 0 0 2 2 】

2 軸 3 D プリンティングプロセスの仕様は、一連のツール軌跡と、各ツール軌跡につき層境界のそれぞれのペアとを含むことができる。ツール軌跡は、層またはそのサブセットを形成するための、一続きの経路である。したがって、ツール軌跡は、2 D 軌跡として定義されることが可能である。層境界のペアは、層の 2 つの高さに対応し、したがって、2 つの層境界は各々、所与の層について一定値である。層境界のペアは、それぞれの軌跡に沿った 3 D プリンティングのパラメータ、例えばレーザパワー値に対応するものとしてことができ、そしてレーザパワー値は、溶融深度の値を定義する。軌跡は、プロセス全体のうちの 3 D プリンティングツールの最大基本直線経路、または、層全体の形成に対応する 3 D プリンティングツールの経路全体、に対応するものとしてすることができる。

## 【 0 0 2 3 】

図 1 の方法は、S 5 でこのような仕様を提供することを含む。次いで、図 1 の方法は、S 8 で、これらの仕様から平面のスタックを決定する。S 1 0 で提供される平面のスタックは、材料のスタッキングを表す任意のデータであってよく、例えば、厚さのリスト、または連続的な高さ対のリスト（例えば、高さ 0 に関連付けられた支持 / 参照平面に対する）である。したがって、平面のスタックは、例えば下から上に（または逆に）、自然の順序に並べられる。「連続的な」という用語は、平面のスタックの自然順序に沿った、直に隣接する 2 つを指す。平面のスタックのうちの平面は、平行とすることができる。各平面は、無限（すなわち境界付けられない平面状表面）とすることができる。

## 【 0 0 2 4 】

平面のスタックは、高さ 0 に関連付けられる下部参照平面を含むことができ、他の平面は、0 でない（例えば正の）高さに関連付けられる。所与の平面における任意の 2 D 幾何形状は、参照平面と、所与の平面へのポイントとにおいて定義されることが可能である。システムは、このような定義を、ポイントされた平面に 2 D 幾何形状が垂直に投影される

10

20

30

40

50

ことになることを意味すると解釈することができる。同様に、2つの所与の平面間の任意の突出（それぞれ、材料の形成に対応するツール軌跡）は、参照平面における2D幾何形状、2つの所与の平面へのポイント、および、突出（それぞれ、ツール軌跡）が企図される情報、として定義されることが可能である。システムは、このような定義を、ポイントされた2つの平面間で2D形状が垂直に突き出されることになる（それぞれ、材料が軌跡に沿って形成されることになる）ことを意味すると解釈することができる。

#### 【0025】

平面のスタックの構築によって、連続的な平面の各対（すなわち順序付けられたペア）は、3Dプリンティングプロセスの結果の、それぞれのスライスに対応する。「スライス」という表現は、材料のスライスを指し、2つの連続的な平面によって境界付けられ一定の厚さを（例えば、少なくとも本質的には）有する3Dプリントされた製品のすべての材料からなるサブセットを示す。言い換えれば、スライスの（厳密な）内部では、製品は、どんな水平な外表面も特色としない。したがって、どんな水平な外表面も、提供されたスタック平面と合致しなければならない。スライス中のサブセットは、必ずしもモノリシックであるとは限らない。また、スライスは、必ずしも層と合致するとは限らない。というのは、スライスは2つの連続的な平面間のすべての材料を包含し、したがって、異なる複数の層（例えば、異なる厚さを有する）が、同じスライスを横断することがあるからである。言い換えれば、スライスは、異なる複数の層の材料を含むことがあり、層を水平に横断することがある。スライス数は、層の数よりも少ないことがある。このことは効率を高める。平面のスタックのうちの平面の数は、例えば、異なる複数の層境界値の数に等しいものとして行うことができる。

#### 【0026】

決定すること（S8）は、例えば、層境界からすべての平面境界のセットを決定することを含む。例えば、S5で提供されるすべての層境界がセットと考えられ、任意選択で重複が削除されてよく、結果が平面境界のセットとして解釈されてよい。次いで、決定すること（S8）は、すべての平面境界のセットを、厳密にプログレッシブなリストにソートすることを含むことができる。「プログレッシブ（progressive）」という用語は、境界が同じ方向に進行することを意味する。「厳密に（strictly）」とは、リスト中に2つの同じ境界が存在し得ないことを意味する。境界が値、例えば高さとして提供される場合、このことは、高さのリストが厳密に増加しつつある（選択された参照すなわち高さ0に応じて、それぞれ、厳密に減少しつつある）ことを意味する。これは、最小数の平面境界を保証し、それによりアルゴリズム全体の効率を高める。

#### 【0027】

例では、方法は、参照製品を例えばB-Repとして表す参照3Dモデル化オブジェクトを提供することに続くことができる。S5で提供される仕様は、参照3Dモデル化オブジェクトに基づいて決定されてよく、例えば、ユーザもしくはチームによって、または自動的もしくは半自動的に、知られている任意の方法で決定されてよい。参照3Dモデル化オブジェクトに基づいてこのような仕様を決定するための既存のソリューションは、例えば、DELMIA（登録商標）などのCAMソリューションによって提供される。層境界間の距離は、実施されるプリンティングのタイプ（後で論じられるハッチング（hatching）またはコンタリング（contouring））に依存することがあり、プリンティングのタイプ自体は、レーザーパワーに依存し、したがって溶融材料の深度に依存する。例えば、ユーザまたはチームまたはアルゴリズムが、B-Repに対応する平面のスタックを決定することができ、次いで、第1のアルゴリズムが、参照3Dモデル化オブジェクトと所与の平面との間の交差を計算することができる。結果は、「コンタリング」と呼ばれる1つまたは複数のサイクルを提供する。次いで、第2のアルゴリズムが、各コンタリングを「ハッチ」して平行なセグメントのセットを生み出すことができ、これらのセグメントは、コンタリングに含まれ、それらの間で一定距離を有し、この距離はやはりレーザーパワーに依存する。「コンタリング」および「ハッチング」の概念については、後で論じられる。このプロセスの例は、Pulak Mohan Pandey、N. Venkata Re

10

20

30

40

50



ddy、およびSanjay G. Dhandeによる文書「Slicing procedures in layered manufacturing: a review」にも提供されている。

【0028】

別法として、平面のスタックは、例えば別のユーザから受け取られたものとして、S10でそのように提供されてもよい。

【0029】

次いで、方法は、スタックの連続的な平面の各対につき実施されるスキームS20を含む。

【0030】

スキームS20は、1つまたは複数のそれぞれのツール軌跡を提供すること(S210)を含む。ツール軌跡は、S5で提供された仕様がもしあれば、その仕様から直接に生じることができる。言い換えれば、所与のスライスの2つの平面を包含する層境界の所与の各ペアにつき、S5で所与のペアに対して提供されたツール軌跡が、210でも所与のスライスに対して提供される。S5が実装されない代替においては、これらのツール軌跡は、例えばやはり別のユーザから受け取られたものとして、そのように提供されてよい。S10で提供される平面、およびS210で提供されるツール軌跡は、所与の対に対して提供されたツール軌跡を辿るときにツールによって遭遇されるすべての場所で、この所与の対の2つの連続的な平面間の材料を、製品が特色とすることに対応する。

【0031】

スキームS20はまた、連続的な平面の対に対応する1つまたは複数のツール軌跡(の和(union))に対応する、それぞれの2D輪郭を決定すること(S220)を含む。2D輪郭は、2D幾何形状の境界である。この場合では、考察される連続的な平面の対に対する、S210で提供された1つまたは複数の軌跡の和は、最終的な3Dプリントされた製品と交差する、スライス(連続的な平面の対によって定義される)のサブセットを定義する。このスライスに対して決定される2D輪郭は、交差の輪郭の2D横断セクションとすることができる。S220で決定される2D輪郭は、S210で提供された1つまたは複数の軌跡に基づいて、軌跡の和を考えることによって決定されてよい。例が後で提供される。

【0032】

スキームS20はまた、それぞれの2D輪郭のそれぞれの突出を決定すること(S230)を含む。それぞれの突出は、対のうちの第2の平面と、対のうちの第1の平面とによって境界付けられる。突出は、古典的アルゴリズムを使用して、B-Rep部分として決定される。方法はまた、突出と平面の部分とでB-Repを形成すること(S30)を含む。言い換えれば、S230のすべての反復において決定された突出が、やはりB-Rep部分として定義される平面の適切な部分を使用して縫い合わせられ、したがって、結果はB-Repを形成する(例えば、B-Repが閉曲面を正しく形成するように、縫われた突出の結果的なセットの下部および/または上部で最終的に閉じられた後で)。S30で使用される平面の部分は、所与の突出の上部を次の突出(上方向の)の下部に接合する部分である。このような部分を決定することの例が、後で提供される。形成すること(S30)は、このような決定の後で位相グラフを書き換えることからなる(例えば、論理演算(例えばどんな幾何学的演算も排除した)からなる)ものとして行うことができる。例が後で提供される。

【0033】

このような方法は、3Dプリンティングの分野を改善する。

【0034】

とりわけ、本方法は、S30で、2軸3Dプリンティングプロセスの結果を表すコンピュータ化されたデータを出力する。このようなコンピュータ化されたデータは、次いで、3Dプリンティングコンテキストによって必要とされる任意の方式で処理されることが可能である。B-Repフォーマットのおかげで、このような後処理は比較的、効率的であ

10

20

30

40

50

る可能性がある。B - R e p フォーマットは実際、比較的高い情報緻密性 (compacity) を提供するとともに、比較的高レベルの詳細も提供する。また、非構造化表現など他のタイプの表現と比較して、B - R e p フォーマットは、最も関連性のある情報、すなわち立体の境界を提供する。さらに、B - R e p は、ほとんどの産業設計ソフトウェアソリューションにおいて標準化されており、したがって、多くの産業コンテキストで、B - R e p モデルを出力することが要件になっている (この場合、図 1 の方法は、高速かつ頑強な方式で結果に達するのを可能にする)。

#### 【 0 0 3 5 】

さらに、図 1 の方法によって S 3 0 で形成される B - R e p は、2 D 輪郭の突出の決定 S 2 3 0 のおかげで、特に効率的に得られる。決定 S 2 3 0 は、コンピュータリソースをほとんど使用せずに実施されることが可能である。とりわけ、S 2 3 0 は、どんな立体ブール演算も排除して実施されることが可能である。立体ブール演算は、時間がかかる。他方、図 1 の方法は、2 D 輪郭の突出を用いて 3 D を構築し、これは特に高速に実施されることが可能である。また、図 1 の方法は、どんなコリジョンテスト、構成診断、表面 / 表面の積、トポロジ解決、および / またはユーザ介入も排除することができる。したがって、図 1 の方法は、高速に実施されることが可能である。

#### 【 0 0 3 6 】

これにより、図 1 の方法は、汎用に設計された、C A D システムのブール演算 (和 (union)、積 (intersection)、減算 (subtraction)) に関する従来のアルゴリズムとは異なる。このような従来のブール演算アルゴリズムは、任意位置の任意形状を特色とする任意の入力立体、特に、自由形式の表面を特色とする相互貫入する立体を、考慮に入れなければならない。この目的で、これらのアルゴリズムは、コリジョンテスト、コストのかかる構成診断、複雑な表面 / 表面の積、およびトポロジ解決を実施する。加えて、これらは、立体部品をユーザ制御下で設計するのに使用される。ユーザは、各設計動作を 1 つずつ実施し、中間結果をチェックする。このようにして、正しくない結果または障害は、進行中に管理される。

#### 【 0 0 3 7 】

次に、ブール演算に関する従来のアルゴリズムのこのような問題が、図 2 ~ 3 に関して論じられる。

#### 【 0 0 3 8 】

第 1 の入力立体の面、および第 2 の入力立体の面を、それぞれ A および B と表記するが、ブール演算アルゴリズムにとって最も快適な構成は、図 2 に示されるような 2 つの横断面を有することである。逆に、最も困難な構成は、次のとおりである。面 A と B とが同一平面上にある。面 B の境界曲線 B が、面 A の支持平面に含まれる。面 A の境界曲線 A の一部が、面 B の境界曲線 B の一部と一致する。図 3 は、このような困難な構成を、それぞれ左から右に示す。汎用 3 D アルゴリズムは、3 D プリンティングシミュレーションに適用された場合、ユーザの予想に適合しない計算時間を特色とするであろう。さらに、実施するブール演算の数が非常に多いせいで、信頼性問題が生じることもある。これは、この非常に特殊なコンテキストでは、困難な構成のみが 3 D アルゴリズムに与えられることになるからである。層の数を n と表記すると、少なくとも n - 1 個の和が必要になり、n の通常値は数千である。この規模は、わずか数百という、機械設計のコンテキストにおける従来のブール演算の公称使用をはるかに超える。最後に、すべての演算は、ユーザの視覚的制御の外で実施されることになり、それによりプロセスは一層脆弱になる。結論として、ブール演算に関する従来のアルゴリズムは、2 軸 3 D プリンティングプロセスの結果の B - R e p を決定するのに適応されない。

#### 【 0 0 3 9 】

他方、図 1 の方法は、スライスが相互貫入なしに貼り合わせられることを考慮して、あるスライスが別のスライスの上部になるように材料の平面状スライス (薄い立体によって表される) を結合するのに専用された和アルゴリズムのバージョンを実装する。この非常に特殊な状況のおかげで、図 1 の方法によって実装される 2 D アルゴリズムは、汎用 3

10

20

30

40

50

Dアルゴリズムによって達成可能な結果と（形状において）同様の結果を、しかしはるかに高速な方式で達成する。これはとりわけ、図1の方法の例では、幾何学のおよび位相的計算が主に、すべてのスライスに対して平行な作業平面における閉曲線を用いて実施されるからである。図1の方法の2D指向技術は、アルゴリズムを汎用3Dアルゴリズムよりもずっと単純にする。3Dプリンティングシミュレーションが、困難な構成のみを特色とするにもかかわらず、これらは常に予期されることが可能であり、したがってコストのかかる診断を回避する。結果として、2Dアルゴリズムは、はるかに高速であり、また、ユーザ予想に適合する計算時間内で産業事例を扱うのに十分なほど頑強である。

#### 【0040】

図1の方法は、以下の適用プロセスのうちの任意の1つまたは任意の組合せにおいて実装されることが可能である（例えば、図1の方法の出力、および/または図1の方法の任意の1つもしくは複数のステップの出力が、以下のための入力として提供されるか、別法として、方法は、さらに他のステップとして以下を含む）。

#### 【0041】

1) S30で形成されたB-Repは、ユーザまたはチームによって分析されることが可能である。例えば、ユーザまたはチームは、候補2軸3Dプリンティングプロセスに従って1つまたは複数の製品を製造することを企図する。次いで、図1の方法が実施されて、候補2軸3Dプリンティングプロセスの結果が出力されてよい。次いで結果は分析されてよく、それにより、候補2軸3Dプリンティングプロセスの仮想評価が可能にされる。分析の結果に基づいて、ユーザまたはシステムは、任意のアクションに着手することができる。例えば、基準が満たされると（それぞれ、満たされないと）、候補2軸3Dプリンティングプロセスは、有効化される（それぞれ、拒否される）ものとすることができる。「有効化」（それぞれ「拒否」）によって意味されるのは、候補2軸3Dプリンティングプロセスが適切な（それぞれ、不適切な）製造プロセスと考えられるということである。これにより、図1の方法は、候補2軸3Dプリンティングプロセスを効率的かつ仮想的にテストするためのソリューションに向けたステップを提供し、例えば、したがって、2軸3Dプリンティングプロセスを設計するためのフレームワークを提供する。

#### 【0042】

分析は、例えば、次の例のうちの任意の1つまたは任意の組合せを含むことができる。

#### 【0043】

a. 分析は、参照（製造）製品の3Dモデル化オブジェクト表現との比較を含むことができる。例えば、ユーザまたはチームは、提供された参照3Dモデル化オブジェクトによって表される参照製品を製造することを企図する。参照3Dモデル化オブジェクトは、CADソフトウェア、またはそのような設計機能を統合した任意のソフトウェアを使用して、例えば事前に、例えば別のユーザまたはチームによって設計されたものであってよい（ただし必ずしもそうとは限らない）。ユーザまたはチームは、仮説的な2軸3Dプリンティングプロセス（後で説明されるようにツール軌跡に対応する）、すなわち、結果的に参照製品になると考えられる2軸3Dプリンティングプロセスを、決定することができる（例えば、推測または仮説または任意の適切な方法によって）。次いで、図1の方法が実施されて、仮説的な2軸3Dプリンティングプロセスの結果が出力されてよい。次いで、結果は、参照3Dモデル化オブジェクトと比較されてよく、それにより、仮説的な2軸3Dプリンティングプロセスの仮想評価が可能にされる。比較は任意の方式で実施されてよく、例えば、アルゴリズムによって自動的に、またはユーザによって視覚的に実施されてよい。例では、比較は、距離分析を含むか、または距離分析からなるものとすることができる。2つの3Dモデル間の距離分析は、2つの3Dモデル間の幾何学的偏差の評価（例えば、2つのオブジェクト間の幾何学的偏差のマップ）である。自動的に距離分析比較を実施して、参照3Dモデル化オブジェクトと出力B-Repとの間の材料差が計算されてよく、これは例えば、単純に、例として対称ブール差（difference）（例えば、従来のブール減算および和に基づく（ $A \setminus B$ ）（ $B \setminus A$ ））、またはハウスドルフ距離の近似（例えば、Bを点によってサンプリングし、各サンプル点につきAへの最小距離を計算する

10

20

30

40

50

こと)を適用することによって、行われてよい。視覚的な比較(距離分析または他の任意の比較)は、2015年10月25日に出願された欧州出願第15306705.3に記載のように実施されてよく、より一般的には、2つのオブジェクトを同時に、例えば同じシーン中で重ねられた状態で表示し、ユーザ対話ツールの操作時に両方のオブジェクトのレンダリングを制御することによって、実施されてよい。ターゲット製品の3D表現は、B-Rep自体であってもよい。このような場合、比較は、特に高速に実施されることが可能である。例えば、距離分析が、所定しきい値よりも高い(それぞれ、低い)幾何学的偏差(参照される3Dモデル化オブジェクトと図1の方法の出力との間の)につながった場合、仮説的な2軸3Dプリンティングプロセスは拒否される(それぞれ、有効化される)ものとすることができる。

10

#### 【0044】

b.分析は、S30で形成されたB-Rep中に欠陥があるかどうかに関する任意の検索を含むことができる。例えば、分析は、微小亀裂検出(micro-crack)および/または衝突(clash)検出を含むことができる。製品境界を表す3Dモデルに対するこのようなよく知られた分析は、B-Repを用いて特に効率的に実施されることが可能である。

#### 【0045】

c.分析は、物理的分析、例えば、物理現象下での、S30で形成されたB-Repによって表される現実のオブジェクトの挙動の分析を含むことができる。製品境界を表す3Dモデルに対するこのようなよく知られた分析は、B-Repを用いて特に効率的に実施されることが可能である。

20

#### 【0046】

d.分析は、塗装されることになる表面を計算することを含むことができる。このような分析は、B-Repを用いて特に効率的に実施されることが可能である。

#### 【0047】

e.分析は、B-Repが閉曲面であることを使用して、例えば、図1の方法の出力の内部または外部を識別することを含むことができる。

#### 【0048】

2)S30で形成されたB-Repは、ユーザまたはチームによって再加工されることが可能である。再加工は、S30で形成されたB-Repを単純化すること、ならびに/または、さらに他の製造ステップ、例として機械加工および/もしくは組立ステップなどに対応することがある。このような再加工は、B-Repフォーマットに基づく(したがってB-Rep設計動作を使用するように構成された)任意のアルゴリズムまたはソフトウェアへの入力としてB-Repを使用することによって、実施されてよい。これは、機械加工コンテキストに関係するほとんどのソリューションにかかわる。というのは、これらのソリューションは製品の閉曲面表現を必要とし、B-Repフォーマットはこれを提供するからである。これは、材料除去シミュレーションおよび/またはモデル単純化を含む可能性がある。

30

#### 【0049】

3)S30で形成されるB-Repは、リアルタイム(例えば実質的に)で表示されることが可能である。言い換えれば、図1のアルゴリズムが実施されるにつれて、とりわけ突出決定S230のたびに、それぞれの突出および対応する平面部分が、実質的に同時に表示されてよい。任意選択で、各突出プロセスが表示されてよく、それにより、突出が形成されるにつれて立体スキンの一続きの広がりが表示されてよい。例では、連続的な平面の対は、2軸3Dプリンティングプロセスによって辿られるシーケンスに従って(すなわち下から上へ)順序付けられる。このような場合、スキームS20は、このような順序に対応するシーケンスに従って実施されてよい。このような場合、リアルタイム表示は本質的に、プリンティングプロセスの視覚的シミュレーションとなる。言い換えれば、図1の方法は、3Dプリンティングプロセス中のストックのリアルタイム視覚化をユーザに提供するのを可能にすることができる。

40

#### 【0050】

50

4) S 3 0 で形成される B - R e p は、ストリーミングされることが可能であり、例えば、ストリーミングとして別のシステムに、例えばリアルタイムで（すなわち形成されるにつれて）または後で送られることが可能である。B - R e p の層単位のフォーマットは、適用 3 ) に関して上で説明された表示特性に従って、データ損失なしに、またどんな再計算の必要もなしに、B - R e p がストリーミングされるのに伴うリアルタイム表示を可能にする。

#### 【 0 0 5 1 】

5) 2 軸 3 D プリンティングプロセスに関係する 1 つまたは複数の属性が、S 3 0 で形成された B - R e p に追加されてよい。属性は、適用 1 ) で実施された分析によって出力されたデータ、ならびに / または、プリンティングプロセスで使用された材料の記述子、レーザパワーの記述子、および / もしくは製作時間の記述子、のいずれかを含むことができる。このような属性は、層単位の方式で B - R e p の面に関連付けられてよい（すなわち、同じ層に対応する面は、同じ記述子値に関連付けられる）。属性は、プリンティングプロセスにおいて使用された材料遷移の記述子を含むことができ、これらの記述子は、例えば、層遷移単位の方式で、面を分離するエッジに関連付けられる（すなわち、同じ層遷移に対応するエッジは、同じ記述子の値と関連付けられる）。属性は、スライス番号など、例えば B - R e p 全体に関連する他の任意の製造情報を含むこともできる。図 1 の方法によって実装される層単位のフレームワークは、B - R e p によって表される製品の、3 D プリンティングに関係するこのような特性を、自然な方式で記述するのを可能にする。次いで、属性は、1 つまたは複数のこのような属性を含む 1 つまたは複数の基準を用いてユーザが B - R e p のデータベースに照会するのを可能にすることができる。

#### 【 0 0 5 2 】

本方法は、コンピュータによって実装される。このことは、本方法のステップ（または実質的にすべてのステップ）が少なくとも 1 つのコンピュータまたは任意のシステムによって同様に実行されることを意味する。したがって、本方法のステップは、おそらく自動的にまたは半自動的に、コンピュータによって実施される。例では、本方法のステップの少なくともいくつかをトリガすることは、ユーザとコンピュータとの対話を介して実施されてよい。必要とされるユーザとコンピュータとの対話のレベルは、予見される自動性のレベルに依存することがあり、ユーザの希望を実装する必要性とのバランスがとられることがある。例では、このレベルは、ユーザによって定義されてよく、かつ / または事前定義済みであってよい。

#### 【 0 0 5 3 】

方法をコンピュータによって実装することの典型的な例は、この目的に適応されたシステムを用いて方法を実施することである。システムは、メモリとグラフィカルユーザインタフェース（GUI）とに結合されたプロセッサを備えることができ、メモリには、方法を実施するための命令を含むコンピュータプログラムが記録されている。メモリはデータベースを記憶することもできる。メモリは、このような記憶に適応された任意のハードウェアであり、おそらくいくつかの別個の物理的部分（例えば、1 つはプログラム用、おそらく 1 つはデータベース用）を含む。

#### 【 0 0 5 4 】

本方法は一般に、モデル化されたオブジェクト（S 3 0 で形成される B - R e p が、このようなモデル化されたオブジェクトの 1 つである）を操作する。モデル化されたオブジェクトは、データベースに例えば記憶されたデータによって定義される任意のオブジェクトである。その延長上で、「モデル化されたオブジェクト」という表現は、データ自体を示す。システムのタイプに従って、モデル化されたオブジェクトは、異なる種類のデータによって定義されることがある。システムは実際、CAD システム、CAE システム、CAM システム、PDM システム、および / または PLM システムの任意の組合せであることがある。これらの種々のシステム中で、モデル化されたオブジェクトは、対応するデータによって定義される。それに応じて、CAD オブジェクト、PLM オブジェクト、PDM オブジェクト、CAE オブジェクト、CAM オブジェクト、CAD データ、PLM デー

た、PDMデータ、CAMデータ、CAEデータとすることができる。しかし、これらのシステムは、他のシステムを除外したシステムではない。というのは、モデル化されたオブジェクトは、これらのシステムの任意の組合せに対応するデータによって定義され得るからである。したがって、システムは、以下に提供されるこのようなシステムの定義から明らかになるように、CADとPLMの両方のシステムであることも十分にある。

#### 【0055】

CADシステムによって追加的に意味されるのは、CATIAなど、モデル化されたオブジェクトのグラフィカル表現に基づいて、モデル化されたオブジェクトを設計するのに少なくとも適応された任意のシステムである。この場合、モデル化されたオブジェクトを定義するデータは、モデル化されたオブジェクトの表現を可能にするデータを含む。CADシステムは、例えば、エッジまたは線を使用して、場合によっては面または表面を用いて、CADモデル化オブジェクトの表現を提供することができる。線、エッジ、または表面は、様々な方式で、例えば非一様有理Bスプライン(NURBS)で表されることがある。具体的には、CADファイルは仕様を含み、仕様から幾何形状が生成されてよく、そして幾何形状は生成されるべき表現を可能にする。モデル化されたオブジェクトの仕様は、単一のCADファイルまたは複数のCADファイルに記憶されてよい。CADシステムにおけるモデル化されたオブジェクトを表すファイルの通常のサイズは、1つの部品につき1メガバイトの範囲である。そしてモデル化されたオブジェクトは通常、何千個もの部品のアセンブリとすることができる。

#### 【0056】

モデル化されたオブジェクトは通常、3Dモデル化オブジェクトとすることができ、これは例えば、部品もしくは部品のアセンブリ、またはおそらく製品のアセンブリなど、製品を表す。「3Dモデル化オブジェクト」によって意味されるのは、その3D表現を可能にするデータによってモデル化される任意のオブジェクトである。3D表現は、部品をすべての角度から見るのを可能にする。例えば、3Dモデル化オブジェクトが3D表現されたとき、このオブジェクトは、動かされて、その軸の周りで、または表現が表示されている画面中の任意の軸の周りで回転されることが可能である。これはとりわけ、3Dモデル化されない2Dアイコンを排除する。3D表現の表示は、設計を容易にする(すなわち、設計者が自分のタスクを統計的に達成する速度を速める)。製品の設計は製造プロセスの一部なので、これは、産業における製造プロセスを加速する。

#### 【0057】

S30で形成されるB-Repは、(例えば機械的な)部品など、CADソフトウェアソリューションまたはCADシステムを例えば用いたその仮想設計の完了に続いて実世界で製造されることになる製品の、幾何形状を表すことができる。図1の方法は複数回適用されてよく、それにより、S30のそれぞれのインスタンスにおいて形成されたそれぞれのB-Repによって各々表されるいくつかの部品のアセンブリが設計される。CADソフトウェアソリューションは、航空宇宙、建築、建設、消費財、ハイテクデバイス、産業機器、輸送、海洋、および/または海底石油/ガス生産もしくは輸送を含めた、様々な無限の産業分野における製品の設計を可能にする。したがって、本方法によって設計された3Dモデル化オブジェクトは、任意の機械部品である場合のある産業製品を表すことができ、これらは、地上車両の部品、航空機の部品、海軍車両の部品、一般的な機械部品、電気機械または電子部品、消費財、包装などである。

#### 【0058】

図4~9に、S30で形成され得るB-Repの例が示される。すべての部品は、複雑なトポロジを特色とするにもかかわらず、材料の単一のピースからなることに留意されたい。図4~6は、典型的なダクトおよびタンクを示す。図7は、産業ビルディングのモックアップを示す。図8~9は、航空宇宙部品(図1の方法の実装テストによって実際に得られた)を示す。

#### 【0059】

PLMシステムによって追加的に意味されるのは、物理的な製造された製品(または製

10

20

30

40

50

造されることになる製品)を表すモデル化されたオブジェクトの管理に適応された任意のシステムである。したがって、PLMシステムでは、モデル化されたオブジェクトは、物理的オブジェクトの製造に適したデータによって定義される。これらは通常、寸法値および/または公差値とすることができる。オブジェクトの正しい製造のためには、実際、このような値を有する方がよい。

#### 【0060】

CAMソリューションによって追加的に意味されるのは、製品の製造データを管理するのに適応された任意のソリューション(ソフトウェアまたはハードウェア)である。製造データは一般に、製造する製品、製造プロセス、および必要とされるリソースに関係付けられるデータを含む。CAMソリューションを使用して、製品の製造プロセス全体が計画され最適化される。例えば、これは、実行可能性、製造プロセスの継続時間、または、製造プロセスの特定のステップで使用される場合のあるリソース(特定のロボットなど)の数に関する情報を、CAMユーザに提供することができ、したがって、管理または必要投資に関する決定を可能にすることができる。CAMは、CADプロセスおよび潜在的なCAEプロセスの後の、後続プロセスである。このようなCAMソリューションは、ダッソーシステムズによって、商標DELMIA(登録商標)の下で提供される。

10

#### 【0061】

CAEソリューションによって追加的に意味されるのは、モデル化されたオブジェクトの物理的挙動の分析に適応された任意のソリューション(ソフトウェアまたはハードウェア)である。よく知られており広く使用されているCAE技法は、有限要素法(FEM)であり、FEMは通常、モデル化されたオブジェクトを要素に分割することを含み、要素の物理的挙動が、式によって計算されシミュレートされることが可能である。このようなCAEソリューションは、ダッソーシステムズによって、商標SIMULIA(登録商標)の下で提供される。別の成長しつつあるCAE技法は、種々の物理学分野からの複数のコンポーネントで構成される複雑なシステムを、CAD幾何学データなしでモデル化および分析することを含む。CAEソリューションは、製造する製品のシミュレーション、したがって最適化、改善、および有効化を可能にする。このようなCAEソリューションは、ダッソーシステムズによって、商標DYMOLA(登録商標)の下で提供される。

20

#### 【0062】

PDMは、Product Data Management(製品データ管理)の略語である。PDMソリューションによって意味されるのは、特定の製品に関係付けられるすべてのタイプのデータを管理するのに適応された任意のソリューション(ソフトウェアまたはハードウェア)である。PDMソリューションは、製品のライフサイクルに関与するすべての関係者によって使用されることが可能であり、これらの関係者は、主要エンジニアだけでなくプロジェクトマネージャ、財務担当者、販売担当者、およびバイヤーも含む。PDMソリューションは一般に、製品指向のデータベースに基づく。これは、関係者が自分の製品に関する一貫性のあるデータを共有できるようにし、したがって、互いに異なるデータを関係者が使用するのを防止する。このようなPDMソリューションは、ダッソーシステムズによって、商標ENOVIA(登録商標)の下で提供される。

30

#### 【0063】

図10は、システムがCADシステムである場合の、システムのGUIの例を示す。

40

#### 【0064】

GUI2100は、典型的な、CADのようなインタフェースとすることができ、標準的なメニューバー2110、2120、ならびに下部および側部ツールバー2140、2150を有する。このようなメニューバーおよびツールバーは、当技術分野で知られるように、ユーザ選択可能なアイコンのセットを含み、各アイコンは、1つまたは複数の操作または機能に関連する。これらのアイコンのいくつかは、GUI2100中で表示された3Dモデル化オブジェクト2000を編集および/または処理することに適応されたソフトウェアツールに関連し、3Dモデル化オブジェクト2000は、S30で形成されたB-Repであるかまたはそれを含む場合がある。ソフトウェアツールは、ワークベンチに

50

グループ化されてよい。各ワークベンチは、ソフトウェアツールのサブセットを含む。特に、ワークベンチの１つは、モデル化された製品２０００の幾何学的特徴を編集するのに適した編集ワークベンチである。動作時、設計者は、例えば、オブジェクト２０００の部品を事前選択し、次いで、適切なアイコンを選択することによって操作を開始する（例えば、寸法や色などを変更する）かまたは幾何学的制約を編集することができる。例えば、典型的なＣＡＤ操作は、画面に表示された３Ｄモデル化オブジェクトの打抜きまたは折曲げのモデル化である。ＧＵＩは、例えば、表示された製品２０００に関するデータ２５００を表示することができる。図の例では、「特徴ツリー」として表示されたデータ２５００、およびそれらの３Ｄ表現２０００は、ブレーキキャリパとディスクとを含むブレーキアセンブリに関する。ＧＵＩはさらに、例えば、オブジェクトの３Ｄ配向を容易にするため、編集された製品の動作のシミュレーションをトリガするため、または表示された製品２０００の様々な属性をレンダリングするための、様々なタイプのグラフィックツール２１３０、２０７０、２０８０を示すこともできる。ユーザがグラフィックツールと対話できるようにするために、カーソル２０６０が触覚ツールによって制御されてよい。

【００６５】

図１１は、システムがクライアントコンピュータシステム、例えばユーザのワークステーションである場合の、システムの例を示す。

【００６６】

この例のクライアントコンピュータは、内部通信バス１０００に接続された中央処理装置（ＣＰＵ）１０１０と、やはりバスに接続されたランダムアクセスメモリ（ＲＡＭ）１０７０とを備える。クライアントコンピュータにはさらにグラフィカル処理ユニット（ＧＰＵ）１１１０が設けられ、ＧＰＵ１１１０は、バスに接続されたビデオランダムアクセスメモリ１１００に関連付けられる。ビデオＲＡＭ１１００は、当技術分野ではフレームバッファとしても知られる。大容量記憶デバイスコントローラ１０２０が、ハードドライブ１０３０などの大容量メモリデバイスへのアクセスを管理する。コンピュータプログラム命令およびデータを有形に組み入れるのに適した大容量メモリデバイスは、すべての形の不揮発性メモリを含み、例としてこれらは、ＥＰＲＯＭやＥＥＰＲＯＭやフラッシュメモリデバイスなどの半導体メモリデバイス；内部ハードディスクや取外し可能ディスクなどの磁気ディスク；光磁気ディスク；およびＣＤ－ＲＯＭディスク１０４０を含む。これらのいずれも、特別設計されたＡＳＩＣ（特定用途向け集積回路）によって補足されるかまたはその中に組み込まれることがある。ネットワークアダプタ１０５０が、ネットワーク１０６０へのアクセスを管理する。クライアントコンピュータはまた、カーソル制御デバイスやキーボードなど、触覚デバイス１０９０を備えることもできる。カーソル制御デバイスは、ユーザがカーソルをディスプレイ１０８０上の任意の所望の場所に選択的に位置決めできるようにするために、クライアントコンピュータ中で使用される。加えて、カーソル制御デバイスは、ユーザが様々なコマンドを選択することおよび制御信号を入力することができるようにもする。カーソル制御デバイスは、制御信号をシステムに入力するためのいくつかの信号生成デバイスを備える。通常、カーソル制御デバイスはマウスとすることができ、マウスのボタンを使用して信号が生成される。別法としてまたは追加で、クライアントコンピュータシステムは、感応性パッドおよび／または感応性画面を備えることもできる。

【００６７】

コンピュータプログラムは、コンピュータによって実行可能な命令を含むことができ、命令は、上記のシステムに本方法を実施させる手段を含む。プログラムは、システムのメモリを含めた任意のデータ記録媒体に記録可能とすることができる。プログラムは、例えば、デジタル電子回路において、またはコンピュータハードウェア、ファームウェア、ソフトウェア、もしくはこれらの組合せにおいて、実装されてよい。プログラムは、装置として、例えば、プログラム可能プロセッサによって実行されるように機械可読記憶デバイスに有形に組み入れられた製品として、実装されてよい。方法ステップは、入力データに作用して出力を生成することによって本方法の機能を実施するための命令のプログラム

10

20

30

40

50



を、プログラム可能プロセッサが実行することによって、実施されてよい。したがって、プロセッサは、プログラム可能であってよく、データ記憶システム、少なくとも1つの入力デバイス、および少なくとも1つの出力デバイスとの間で、データおよび命令を送受信するように結合されてよい。アプリケーションプログラムは、高水準手続き型もしくはオブジェクト指向プログラミング言語で、または望まれるならアセンブリもしくは機械言語で、実装されてよい。いずれの場合も、言語は、コンパイルまたは解釈される言語とすることができる。プログラムは、フルインストールプログラムまたは更新プログラムとすることができる。プログラムがシステム上で適用される結果、いずれの場合も、本方法を実施するための命令となる。

【0068】

10

次に、図1の方法によってシミュレートされ得るパウダーベッド3Dプリンティングプロセスの例が、図12～15に関して論じられる。

【0069】

立体材料作成は、平坦なパウダー層の上部で光源および反射ミラーからのレーザを駆動することによって実施される。レーザがパウダーに当たった点で起こる溶融が、瞬時にパウダーを立体材料に変える。溶融深度 $d$ および溶融半径 $r$ は、各軌跡に沿って一定である。しかし、パラメータ $d$ および $r$ は、レーザの強度によって支配され、レーザの強度は、軌跡ごとに変化することがある。パウダーベッドは矩形ボリュームであり、その深度は、ピストンを下げることおよびパウダー補充によって、段階的に増加される。

【0070】

20

したがって、全体的なプロセスは、以下のシーケンスを繰り返すことである。

1. 距離 $d$ に従ってピストンを下げる。
2. 厚さ $d$ の新しい薄いパウダー層を追加する。
3. レーザの強度を調整し、この新しい層の上部でレーザの軌跡を駆動する。これは、厚さ $d$ 以上のパウダーサブボリュームを固める。
4. ステップ1に行く。

【0071】

図12の左の図面は、前の層のプリンティングの終りを示す。レーザは「オフ」である。図12の右の図面は、ピストンを下げることによってパウダーベッドの上部に残された空のボリュームを示し、これは、反復のうちのステップ1である。図13の左の図面は、パウダーベッドの上部の新たなパウダーの層を示し、これは、反復のうちのステップ2である。図13の右の図は、現在のパウダー層のプリンティングを示し、これは、反復のうちのステップ3である。点線はレーザ軌跡であり、これはミラーを回転させることによってコンピュータ駆動される。

30

【0072】

このプロセスをCADシステム中でシミュレートするための(また、図1の方法がそれから逸脱する)素朴なアプローチは、材料の各層を薄い立体によって表し、幾何学モデルの従来のブール演算、例えば和演算を使用して、これらの立体を結合することであろう(結合(unite)、加算(add)、マージ(merge)は、CAD語彙における和の同義語である)。この動作は、2つの入力立体の和から得られる立体を出力する。図14は、CADシステムを使用して設計された仮想的な立体を示す。図15は、3Dプリンティングによって得られた同じ立体の仮想形状を示す。明確にするために、スライスの厚さは誇張されている。図1の方法は、図15の立体のB-Repを、素朴な手法よりもはるかに高速な方式で得るのを可能にする。

40

【0073】

次に、図1の方法の例示的な実装形態が論じられる。

幾何学上の前置き

本発明のプロセス全体およびコアを扱う前に、幾何学的な考慮事項が与えられる。これらは、CADシステムが計算を実施するために、製造オブジェクトおよび動作が幾何形状によってモデル化される方式を説明する。

50

## 【0074】

レーザ軌跡の幾何形状

このセクションは、レーザ軌跡をターゲット立体から単純な方式で得るための例について述べる。

## 【0075】

ターゲット立体は、平行かつ等距離の平面によって交差される。各交差は、平面状の面である。この平面状の面内で、専用プロセスが、レーザの適切な軌跡を計算する。各平面につき、軌跡は、隔離された点、線分、円弧、および、開いたまたは閉じられた複合曲線となるこのような要素の組合せ、からなる。同じ平面内で、不連続の軌跡が許容され、これらは、別々の一続きのピースからなる軌跡を意味する。

10

## 【0076】

図16は、ターゲット立体、および、平面とのその交差曲線を示す。図17は、交差曲線およびレーザ軌跡（線分）を示す。図18は、レーザ軌跡についての基本要素を示す。図19～20は、典型的な軌跡を示す。

## 【0077】

溶融された材料の幾何形状

レーザがパウダーベッドに当たる隔離された点における溶融された材料の幾何形状は、小さい円柱に似せられることが可能である。その軸は、パウダーベッドの平面状表面に対して直角であり、その半径  $r$  および深度  $d$  は、レーザパワーおよびパウダータイプに依存する。典型的な規模は、 $d = 0.05 \text{ mm}$ 、および  $r = 0.05 \text{ mm}$  であり、 $r = 0.5 \text{ mm}$  までである。レーザ軌跡が線分および円弧からなるとき、溶融された材料の幾何形状は、線分および円弧に沿って円柱の中心を移動させることによって定義されるスイープされたボリュームに似せられることが可能である。軌跡は、一続きであろうとそうでなくとも、スイープされたボリュームが頻繁に重なるようなものである。製造の観点からは、この重なりは、より厚い立体材料を作成しない。

20

## 【0078】

図21～24は、様々な軌跡に関連するスイープされたボリュームを示す。

## 【0079】

図1の方法は、対応するスイープされたボリュームを計算せず、したがって、立体をスイープする複雑さを回避する。これは、以下で説明されるように、前の考慮事項に適合する形状を提供する。

30

## 【0080】

軌跡から輪郭を計算するためのアルゴリズム（すなわちS220の例）

入力データは、図25に示されるような平面状レーザ軌跡  $T$  と、溶融半径  $r$  とである。溶融深度  $d$  は有用でない。第1のステップで、半径  $r$  の円を軌跡  $T$  に沿ってスイープすることによって、オフセット軌跡が計算される。円と軌跡とは両方とも、同じ平面に属する。この動作は  $S := 2DSweep(T, r)$  と表記されるが、この動作は、図26に示されるような自己交差曲線  $S$  をもたらす。第2のステップで、図27に示されるように、スイープされた円のクリーンな境界  $C$  を得るために、曲線  $S$  の無関係のピースが除去される。このプロセスは、最新技術からよく知られている。S220は、例えば、文書「In - Kwon Lee, Myung - Soo Kim, and Gershon Elber, Planar Curve Offset Based on Circle Approximation, Computer - Aided Design, Vol. 28, No. 8, pp. 617 - 630, August, 1996」または文書「Xu - Zheng Liu, Jun - Hai Yong, Guo - Qin Zheng, Jia - Guang Sun. An offset algorithm for polyline curves. Computers in Industry, Elsevier, 2007, 15p」の教示に従って実施されることが可能である。

40

## 【0081】

全体的なプロセスの例

50

図 28 ~ 29 によって示される図 1 の方法の例は、現スライスを前スライスの上部に反復的に追加することになる。このプロセスを反復的に繰り返すことは、最終的に、3D プリントされた立体の形状をもたらす。

#### 【0082】

入力データは、いわゆるハッチングおよびコンタリング平面状軌跡  $T_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) であり、これらはそれぞれ、溶融半径  $r_i$ 、下部限界  $a_i$ 、および上部限界  $b_i$  に関連付けられる。軌跡  $T_i$  の溶融深度は、 $d_i = b_i - a_i$  である。大まかに言って、ハッチングスライスは、ターゲット部品の内部をプリントするのに専用にされ、コンタリングスライスは、ターゲット部品の境界をプリントするのに専用にされる。ハッチングスライスとコンタリングスライスとは、水平方向に整合されず、このことは、 $[a_i, b_i]$  間隔が重なる場合があることを意味し、例の方法の第 1 のステップは、相互細分化を通して、整合されたスライスを提供することとすることができる。

10

#### 【0083】

第 2 のステップでは、方法は、軌跡  $T_i$  および溶融半径値  $r_i$  を使用して、各スライスの境界輪郭を計算することができる。これは、高さのリスト  $z_1 < z_2 < \dots < z_m$  と、各間隔  $[z_i, z_{i+1}]$  に関連する輪郭  $C_i$  とを出力する。ここで、スライス厚さは  $t_i = z_{i+1} - z_i$  と表記され、これらは、溶融深度ではなく幾何学的情報を表す。

#### 【0084】

次いで、方法は、現スライスの幾何形状を計算し、これを前スライスの上部に結合することができる。入力データは、現スライスの厚さ  $t_1$ 、前スライスの輪郭  $C_0$ 、および現スライスの輪郭  $C_1$  である。第 1 のステップは、前スライスの上部輪郭  $C_0$  と現スライスの輪郭  $C_1$  によって定義される平面状トポロジを解くことである。これは、水平の作業平面で実施されてよく、境界付けられない外部領域を含む  $R_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) と表記される近接領域をもたらす。

20

#### 【0085】

第 2 のステップは、現スライスの形状を組み込むために現在の立体に結合されることになる境界面  $F_j$  ( $j = 1, \dots, m$ ) を作成することとすることができる。第 3 の、かつ最後のステップは、立体の上面を面  $F_j$  で置き換えることとすることができる、これは新しい立体形状をもたらす。

#### 【0086】

ハッチングデータとコンタリングデータとを整合する例

30

深度溶融パラメータ  $d$  と半径溶融パラメータ  $r$  とは両方とも、レーザの強度に依存する。ターゲット部品の内側部分をプリントするとき、必要とする精度はより低い、このときは、より厚いスライスを得るために、この強度はより強い。このプロセスはハッチングと称される。反対に、ターゲット部品の境界に近いスライスをプリントするとき、必要とする精度はより高い、このときは、より薄いスライスを得るために、強度は弱められる。このプロセスはコンタリングと称される。この戦略は、正確な最終立体を保ちながら、より短い製造時間につながる。幾何学的な観点からは、ハッチングスライスは、水平方向に整合されない。ハッチングスライスは、図 30 に示されるようにいくつかのコンタリングスライスと重なることがあり、図 30 では、ターゲット形状は点線の断面である。

40

#### 【0087】

本方法は、すべてのスライスが水平方向に整合されるようにして、ハッチングおよびコンタリングデータを再加工することができる。図 31 に示されるように、重なるスライスが相互に細分化されてよい。

#### 【0088】

次に、水平整合のための例示的なアルゴリズムについて記述される。すべてのハッチングおよびコンタリング限界のリスト ( $a_1, b_1, a_2, b_2, \dots, a_n, b_n$ ) が、リスト ( $z_1, z_2, \dots, z_m$ ) にソートされてよく、したがって、 $z_1 < z_2 < \dots < z_m$  である ( $m < 2n$ )。次いで、以下のように、軌跡のリストが各間隔  $[z_i, z_{i+1}]$  に関連付けられてよい。

50

【 0 0 8 9 】

【表 1】

For each interval  $[z_i, z_{i+1}]$  do begin $q := \frac{1}{2}(z_i + z_{i+1})$ For each  $j \in \{1, \dots, n\}$  such that  $a_j < q < b_j$  do beginAssociate trajectory  $T_j$  with interval  $[z_i, z_{i+1}]$ 

End for

End for

10

【 0 0 9 0 】

スライス輪郭を計算する例

ここで、一意の平面状輪郭  $C_i$  が、各間隔  $[z_i, z_{i+1}]$  に関連付けられてよい。以下の例示的なアルゴリズムでは、表記  $S := 2DSweep(T, r)$  および  $C := Clean(S)$  については前に説明されている。表記  $C_i$ 、 $C$  は、輪郭  $C_i$  によって境界付けられる面と、輪郭  $C$  によって境界付けられる面との 2D ブール演算の境界輪郭を指す。表記は空集合である。

【 0 0 9 1 】

【表 2】

20

For each interval  $[z_i, z_{i+1}]$  do begin $C_i := \emptyset$ 

For each trajectory  $T$  associated with  
interval  $[z_i, z_{i+1}]$  do begin

 $r :=$  fusion radius associated with  $T$  $S := 2DSweep(T, r)$  $C := Clean(S)$ 

30

 $C_i := C_i \cup C$ 

End for

End for

【 0 0 9 2 】

ここで、水平方向に整合されたスライスは、間隔  $[z_i, z_{i+1}]$  ( $i = 1, \dots, m - 1$ ) にそれぞれ関連付けられた輪郭  $C_i$  によって定義される。

【 0 0 9 3 】

図 3 2 は、ターゲット立体を示し、図 3 3 は、対応するハッチングスライスおよびコントリングスライスを示す。ハッチングスライスは、軌跡  $T_1$ 、限界  $a_1$ 、 $b_1$ 、およびハッチング半径  $r_H$  に関連付けられ、2つのコントリングスライスは、それぞれ、軌跡  $T_2$  および限界  $a_2$ 、 $b_2$  と、 $T_3$  および限界  $a_3$ 、 $b_3$  と、に関連付けられ、コントリング半径は  $r_C$  である。幾何形状は、 $a_1 = a_2$ 、 $b_2 = a_3$ 、および  $b_1 = b_3$  のようになる。

40

【 0 0 9 4 】

図 3 4 は、ハッチングスライスおよびコントリングスライスにそれぞれ関連付けられた軌跡を示す。明確にするために、スライスは分離されている。

【 0 0 9 5 】

ソートは、 $z_1 = a_1 = a_2 < z_2 = b_2 = a_3 < z_3 = b_1 = b_3$  をもたらし、アルゴリズムは、間隔  $[z_1, z_2]$  および  $[z_2, z_3]$  にそれぞれ関連付けられた 2 つの整合されたス

50

ライスをもたらす。軌跡  $T_1$  および  $T_2$  が、間隔  $[z_1, z_2]$  に関連付けられてよい。軌跡  $T_1$  および  $T_3$  が、間隔  $[z_2, z_3]$  に関連付けられてよい。図 35 にこれが示される。

【0096】

次いで、アルゴリズムは、間隔  $[z_1, z_2]$  に関連付けられた輪郭  $C_1 = \text{Clean}(2\text{DSweep}(T_2, r_C)) \text{ Clean}(2\text{DSweep}(T_1, r_H))$  と、間隔  $[z_2, z_3]$  に関連付けられた輪郭  $C_2 = \text{Clean}(2\text{DSweep}(T_3, r_C)) \text{ Clean}(2\text{DSweep}(T_1, r_H))$  とをもたらすことができる。図 36 は、どのように輪郭  $C_2$  が  $T_1$ 、 $T_3$ 、 $r_H$ 、および  $r_C$  から得られるかを示す。

【0097】

2つのスライスの輪郭を結合して新しいスライスにするためのアルゴリズム（すなわち S30 の例）

次に論じられる例では、B-Rep を形成する平面の部分は、連続的な平面の第 1 の対  $([z_i, z_{i+1}])$  のうちの第 2 の平面と、連続的な平面の第 2 の対  $([z_{i+1}, z_{i+2}])$  のうちの第 1 の平面とである各平面  $(z_{i+1})$  につき、第 1 の対に対する 2D 輪郭  $(C_i)$  の外部にあり第 2 の対に対する 2D 輪郭  $(C_{i+1})$  の内部にあるか、または、第 1 の対に対する 2D 輪郭  $(C_i)$  の内部にあり第 2 の対に対する 2D 輪郭  $(C_{i+1})$  の外部にある、平面  $(z_{i+1})$  のそれぞれの領域  $(R_j)$  に各々対応する面を含む。また、第 1 の対に対する 2D 輪郭  $(C_i)$  の内部にあり第 2 の対に対する 2D 輪郭  $(C_{i+1})$  の外部にある、平面  $(z_{i+1})$  のそれぞれの領域  $(R_j)$  に対応する各面は、平面のスタックの方向の外側ベクトルを用いて設定され、第 1 の対に対する 2D 輪郭  $(C_i)$  の外部にあり第 2 の対に対する 2D 輪郭  $(C_{i+1})$  の内部にある、平面  $(z_{i+1})$  のそれぞれの領域  $(R_j)$  に対応する各面は、平面のスタックの方向と反対の方向の外側ベクトルを用いて設定される。

【0098】

以下は、図 1 の方法の論じられた例のこれらの特徴を詳述する。現在の立体は、スライスの不完全なスタックである。輪郭  $C_0$  は、一番上のスライスの上面の境界曲線である。これは、いくつかのピースからなる可能性がある。輪郭  $C_1$  は、次のスライスの境界である。

【0099】

図 37 ~ 38 に、立体および輪郭  $C_0$ 、 $C_1$  の、形状および位置が示される。図 39 は、輪郭  $C_0$  および  $C_1$  の斜視図を示す。図 40 は、スライスに対して平行な作業平面上に投影された輪郭  $C_0$  および  $C_1$  を示す。

【0100】

投影された輪郭は、作業平面を、無限の外部領域を含む近接領域に分離する。例では、図 41 に示されるように、（投影された）輪郭  $C_0$  および  $C_1$  は、（作業）平面を 7 つの領域  $R_1, \dots, R_7$  に分離する。明確にするために、近接領域は分離されている。

【0101】

各領域は、他方の輪郭の内部にあるか、他方の輪郭の外部にあるか、両方の輪郭の内部にあるか、または両方の輪郭の外部にあるかのいずれかである。次の表は、例示的な領域の内部 / 外部ステータスを集めたものである。

【0102】

【表 3】

	$C_1$ の内部	$C_1$ の外部
$C_0$ の内部	$R_2 R_6$	$R_3 R_4 R_5$
$C_0$ の外部	$R_1$	$R_7$

【0103】

ここで、目標は、立体の更新された形状が得られるようにして、前の輪郭および領域に基づいて面を構築すること、とすることができる。表面 / 表面の積は必要とされない。言

10

20

30

40

50

い換えれば、表面 / 表面の積は、本方法によって排除されてよい。3つのタイプの面、すなわち底面、側面、および上面が作成されてよい。これらの面はすべて、現スライスのトポロジを定義することができる。

#### 【0104】

底面は、以下によって定義されることが可能である。

- $C_0$ の外部にあり $C_1$ の内部にある領域。これらは、下向きの外側法線ベクトルを用いて設定される。
- $C_0$ の内部にあり $C_1$ の外部にある領域。これらは、上向きの外側法線ベクトルを用いて設定される。

#### 【0105】

側面は、深度 $d$ の、輪郭 $C_1$ の下向きの突出によって得られることが可能である。水平の外側法線ベクトルが、側面に関連付けられる。最後に、上面は、上向きの外側法線ベクトルに関連付けられる輪郭 $C_1$ によって定義される。

#### 【0106】

図42に、例の14個の現スライス面 $F_j$ を示す。すなわち、4つの底面（領域 $R_1$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 、および $R_5$ を用いて得られる）、2つの上面（輪郭 $C_1$ を用いて得られる）、ならびに8つの側面（輪郭 $C_1$ を突出させることによって得られる）である。明確にするために、これらは分離されている。面 $R_1$ の、下向きの法線ベクトルに注目されたい。これは、現スライスの下の小さい段を表す。図43～図44は、現スライスを定義する開いたスキンを示す。明確にするために、2つの斜視図が提供される。

#### 【0107】

図1のこれらの例示的な実装形態のまさに最後のステップは、前スライスのすべての上面（これらは、輪郭 $C_0$ によって境界付けられる面である）を立体から除去し、現スライスのスキンで開口を満たすこと、とすることができる。結果的なトポロジは、わざと閉じられている。

#### 【0108】

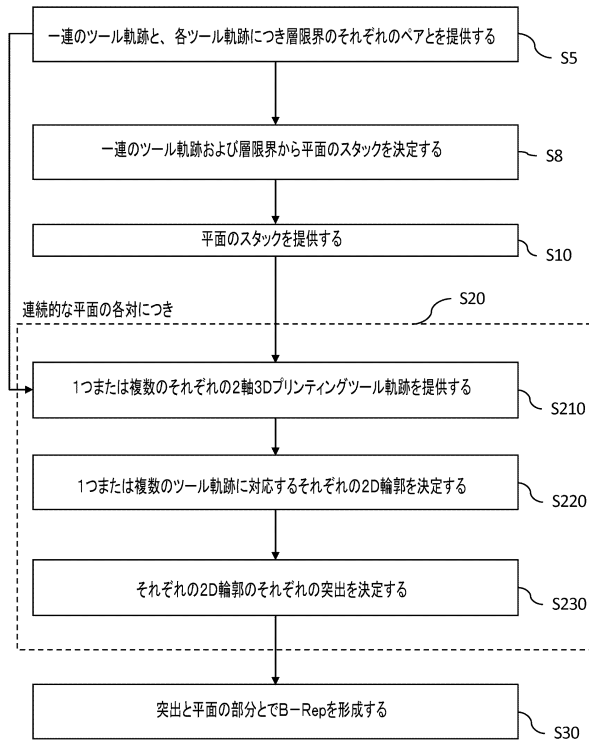
図45は、前スライスの上面を除去することによって立体を開くことを示す。図46は、現スライスのスキンを立体のスキンに縫い付けることを示す。この動作は、立体の従来のブール和ではないことを理解されたい。これは面の縫い合わせであり、これは、計算的観点からは、重い幾何学的演算とは反対に、軽い論理演算のみを伴う位相グラフ書換えである。

10

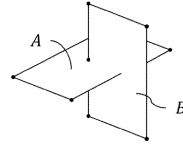
20

30

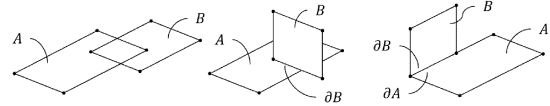
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【図 4】



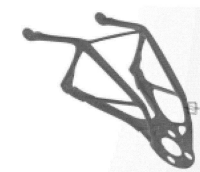
【図 5】



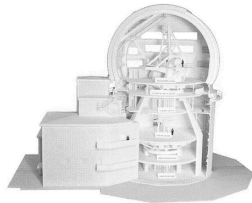
【図 6】



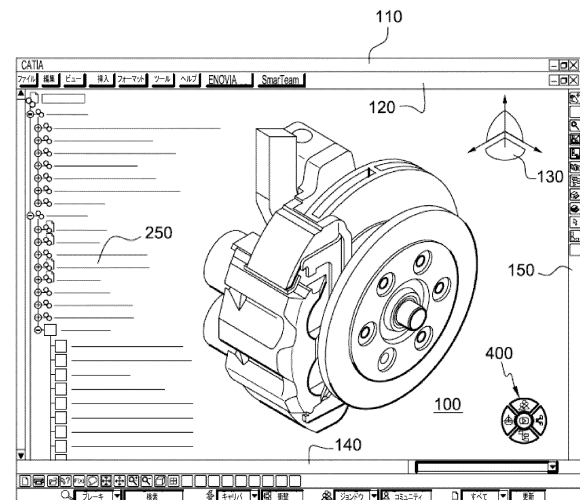
【図 9】



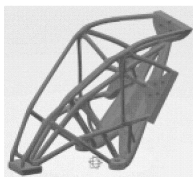
【図 7】



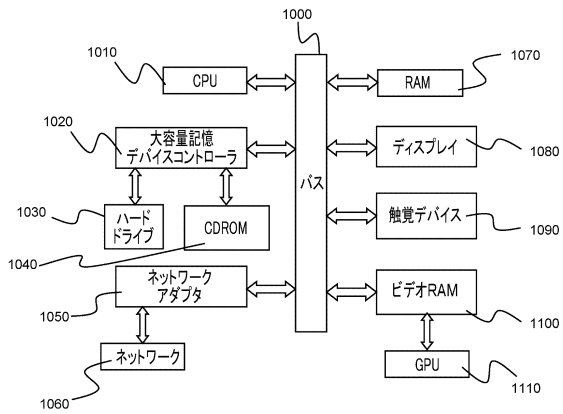
【図 10】



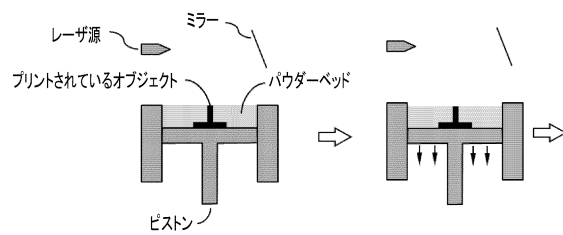
【図 8】



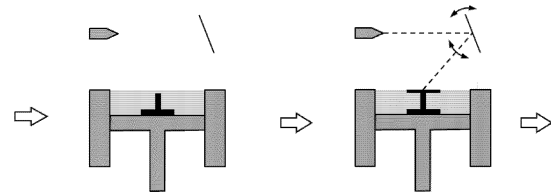
【図 1 1】



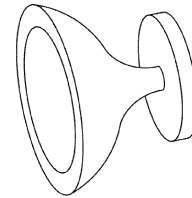
【図 1 2】



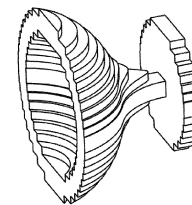
【図 1 3】



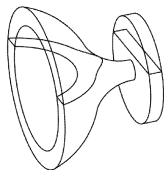
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



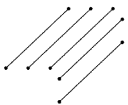
【図 1 7】



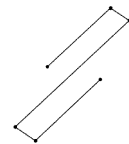
【図 1 8】



【図 1 9】



【図 2 0】



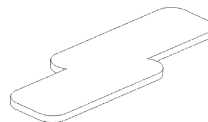
【図 2 1】



【図 2 2】



【図 2 3】

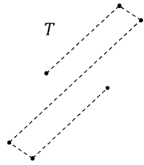


【図 2 4】

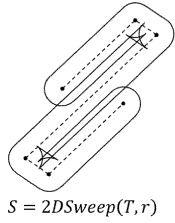




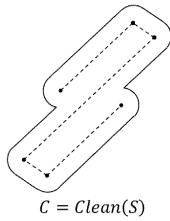
【図 25】



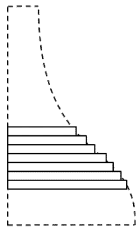
【図 26】



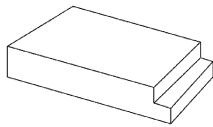
【図 27】



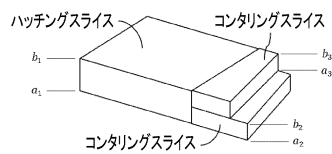
【図 31】



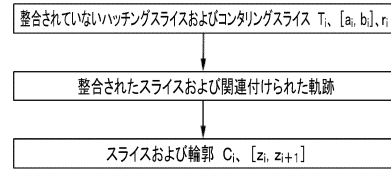
【図 32】



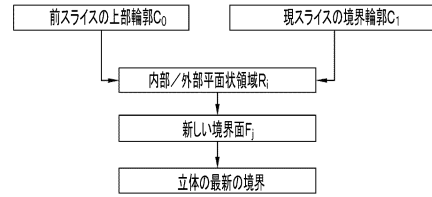
【図 33】



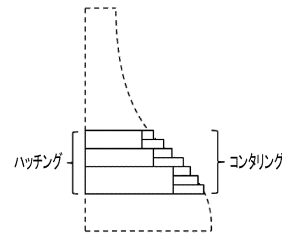
【図 28】



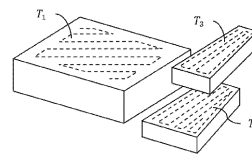
【図 29】



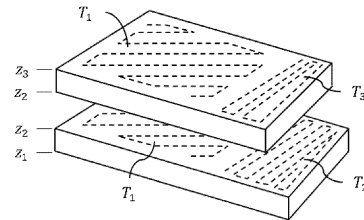
【図 30】



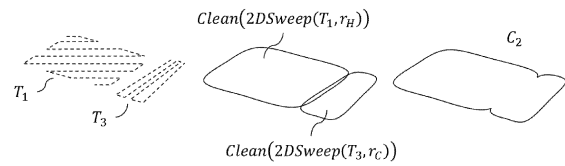
【図 34】



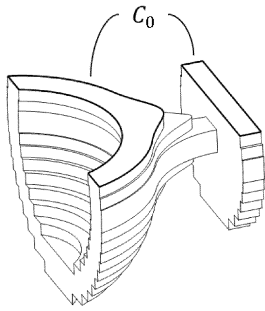
【図 35】



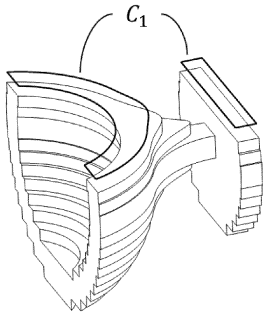
【図 36】



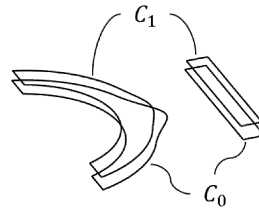
【図 37】



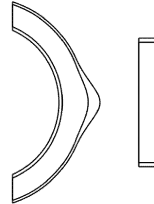
【図 38】



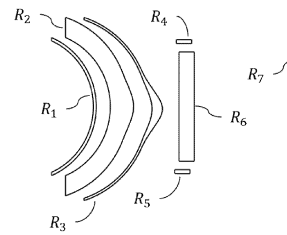
【図 39】



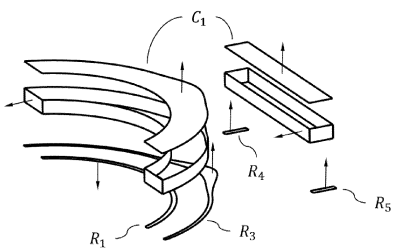
【図 40】



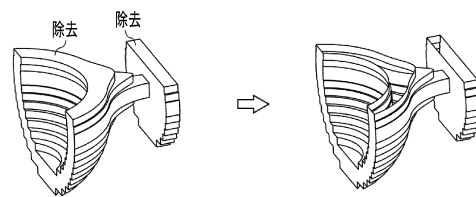
【図 41】



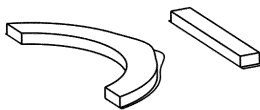
【図 42】



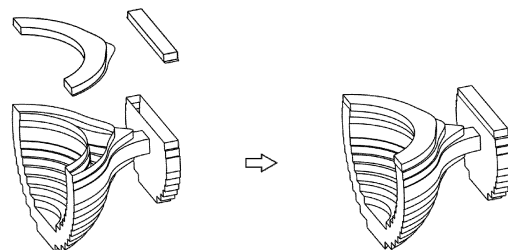
【図 45】



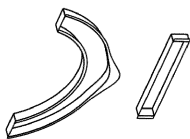
【図 43】



【図 46】



【図 44】



---

フロントページの続き

(72)発明者 リチャード メゾヌーブ  
フランス 13100 エクス アン プロヴァンス アレ バスティド デ シブレ 15 レ  
ジデンス ヴェール コトー バット 3

(72)発明者 ニコラス モンタナ  
フランス 13770 ヴネル アンパッス デ グランジュ アレ ジョリフェルム 8

審査官 合田 幸裕

(56)参考文献 米国特許出願公開第2015/0269282(US,A1)  
国際公開第2014/141273(WO,A2)  
米国特許出願公開第2016/0019270(US,A1)  
国際公開第2017/094791(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G06F 30/10  
B33Y 50/00  
G06F 113/10  
IEEE Xplore  
JSTPlus(JDreamIII)