

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6273042号
(P6273042)

(45) 発行日 平成30年1月31日(2018.1.31)

(24) 登録日 平成30年1月12日(2018.1.12)

(51) Int.Cl.

F I

B 2 9 C	64/153	(2017.01)	B 2 9 C	64/153
B 2 9 C	64/264	(2017.01)	B 2 9 C	64/264
B 3 3 Y	10/00	(2015.01)	B 3 3 Y	10/00
B 3 3 Y	50/02	(2015.01)	B 3 3 Y	50/02

請求項の数 16 (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2016-564983 (P2016-564983)
 (86) (22) 出願日 平成26年4月30日(2014.4.30)
 (65) 公表番号 特表2017-517414 (P2017-517414A)
 (43) 公表日 平成29年6月29日(2017.6.29)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2014/036133
 (87) 国際公開番号 W02015/167520
 (87) 国際公開日 平成27年11月5日(2015.11.5)
 審査請求日 平成28年10月27日(2016.10.27)

(73) 特許権者 511076424
 ヒューレット・パカード デベロップメント カンパニー エル. ビー.
 Hewlett-Packard Development Company, L.P.
 アメリカ合衆国 テキサス州 77070
 ヒューストン コンパック センタ ド
 ライブ ウェスト 11445
 (74) 代理人 100087642
 弁理士 古谷 聡
 (74) 代理人 100082946
 弁理士 大西 昭広
 (74) 代理人 100121061
 弁理士 西山 清春

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 計算モデル及び3次元(3D)印刷法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

3次元(3D)印刷方法であって、
 易焼結性材料を加えるステップと、
 前記易焼結性材料を、約50～約350の範囲内の温度まで加熱するステップと、
 前記易焼結性材料の一部分に合体剤を選択的に加えるステップと、
 i)前記易焼結性材料の熱拡散特性、またはii)前記易焼結性材料の前記一部分の形成されることになる層の熱拡散特性、またはiii)前記i)とii)の両方を用いて、前記易焼結性材料の他の部分に改質剤をどのように選択的に加えるかを決定するステップと、
 前記易焼結性材料の他の部分に前記改質剤を選択的に加えるステップと、
 前記易焼結性材料を放射線にさらし、これによって、前記合体剤は、吸収した前記放射線を熱エネルギーに変換し、該熱エネルギーを伝搬させて、前記合体剤と熱的に接触している前記易焼結性材料の前記一部分を少なくとも部分的に硬化させ、前記改質剤は、該改質剤と熱的に接触している前記易焼結性材料の前記他の部分の硬化を低減もしくは阻止するステップ
 を含み、

前記改質剤は、

約70wt%～約95wt%の水、

約5wt%～30wt%の共溶媒であって、水よりも熱拡散率が小さい共溶媒、及び、
界面活性剤

10

20

を含むことからなる、方法。

【請求項 2】

前記決定するステップが、

コンピュータ可読記憶媒体に格納されているコンピュータ可読命令を実行するコンピュータによって、前記易焼結性材料から形成される前記層の熱拡散モデルを生成するステップと、

前記コンピュータによって、前記熱拡散モデルに基づいて選択的に加えられる前記改質剤の量を計算するステップ

によって達成されることからなる、請求項 1 の方法。

【請求項 3】

前記層は、前記易焼結性材料の前記一部分から形成されるものであり、

前記計算するステップが、

前記熱拡散モデルから、製作ベッドの設定温度より高い前記易焼結性材料の前記他の部分の過剰な温度を決定することと、

前記過剰な温度を過剰なエネルギーの量に変換することと、

前記過剰なエネルギーの量を、該過剰なエネルギーを除去するのに有効な前記改質剤の量に変換すること

を含むことからなる、請求項 2 の方法。

【請求項 4】

前記過剰なエネルギーの量が、前記易焼結性材料の前記他の部分へのエネルギーの二次的な移動を補償するために増加される、請求項 3 の方法。

【請求項 5】

エネルギー損失を補償するために、前記一部分内に加える前記合体剤の調整された量を決定するステップをさらに含む、請求項 3 または 4 の方法。

【請求項 6】

前記決定するステップは、前記改質剤の量と、該量の前記改質剤によって影響を受ける温度変化とを実験的に決定するステップを含む、請求項 1 の方法。

【請求項 7】

実験的に決定する前記ステップが、

前記易焼結性材料上に合体剤と改質剤のいずれも有しない該易焼結性材料を前記放射線にさらして基準領域を形成することと、

前記基準領域の温度を測定することと、

前記易焼結性材料上に前記量の改質剤を有する該易焼結性材料を前記放射線にさらして試験領域を形成することと、

前記試験領域の温度を測定することと、

前記試験領域と前記基準領域との温度差を決定することと、

前記改質剤の前記量を前記温度差に関連付けること

を含むことからなる、請求項 6 の方法。

【請求項 8】

前記決定するステップが、

前記選択的に加えられた合体剤は同じ位置に加えられるが、前記改質剤は加えられない、前記易焼結性材料と同じ材料で形成された硬化された層を用いて熱拡散の長さスケールを推定することと、

前記長さスケールから、前記改質剤を選択的に加える少なくとも 1 つの位置を特定すること

を含むことからなる、請求項 1 ~ 5 のいずれかの方法。

【請求項 9】

前記決定するステップが、

コンピュータ可読記憶媒体に格納されているコンピュータ可読命令を実行するコンピュータによって、前記易焼結性材料から形成される前記層に関する 3D 形状情報を

10

20

30

40

50

受け取ることと、

前記コンピューターによって、前記易焼結性材料の前記一部分から形成される前記層のエネルギープロファイルもしくは温度プロファイルを生成することと、

前記 3 D 形状情報、及び前記エネルギープロファイルもしくは温度プロファイルから、前記コンピューターによって、前記改質剤を前記選択的に加えるパターンを生成すること

によって達成されることからなる、請求項 1 の方法。

【請求項 10】

前記易焼結性材料が接触面上に加えられ、

前記方法がさらに、

前記易焼結性材料の前記一部分に、前記合体剤を、形成されることになる 3 次元物体の層の断面のパターンで選択的に加えるステップであって、前記断面は前記接触面に平行である、ステップと、

前記断面の少なくとも一部分のエッジ境界にある前記易焼結性材料の前記他の部分に前記改質剤を選択的に加えるステップ

を含むことからなる、請求項 1 ~ 9 のいずれかの方法。

【請求項 11】

3 次元 (3 D) 印刷方法の実行中に改質剤を加えるやり方を特定するための方法であって、

コンピューター可読記憶媒体に格納されているコンピューター可読命令を実行するコンピューターによって、易焼結性材料の一部分から形成される層に関する 3 D 形状情報を受け取るステップであって、該 3 D 形状情報は、合体剤を選択的に加えることを示す値を含む、ステップと、

前記コンピューターによって、前記易焼結性材料の前記一部分から形成される前記層のエネルギープロファイルもしくは温度プロファイルを生成するステップと、

前記 3 D 形状情報、及び前記エネルギープロファイルもしくは温度プロファイルから、前記コンピューターによって、形成される前記層に関して前記改質剤を選択的に加えるパターンを生成するステップ

を含む方法。

【請求項 12】

前記コンピューターによって、前記合体剤を選択的に加えることを示す前記値を調節するための変更値を生成するステップをさらに含む、請求項 11 の方法。

【請求項 13】

3 次元 (3 D) 印刷方法の実行中に改質剤を加えるやり方を特定するための計算モデル化法であって、

コンピューター可読記憶媒体に格納されているコンピューター可読命令を実行するコンピューターによって、前記 3 D 印刷方法を用いて易焼結性材料の一部分から形成される 3 次元物体の層の熱拡散モデルを生成するステップと、

前記コンピューターによって、前記熱拡散モデルに基づいて選択的に加えられる前記改質剤の量を計算するステップ

を含む計算モデル化法。

【請求項 14】

前記熱拡散モデルは、前記層のエッジ境界の外側における過剰なエネルギーを識別し、

前記計算するステップは、前記過剰なエネルギーを、選択的に加えられる前記改質剤の前記量に変換することからなる、請求項 13 の計算モデル化法。

【請求項 15】

前記一部分内に加える合体剤の量を決定するステップをさらに含む、請求項 13 または 14 の計算モデル化法。

【請求項 16】

前記改質剤が、バイオサイドとして、1, 2 - ベンゾイソチアゾリン - 3 - オンをさら

10

20

30

40

50

に含む、請求項 1 ~ 10 のいずれかの方法。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

3次元(3D)印刷は、デジタルモデルから3次元固形物(3次元固体)を作製するために使用される積層(付加)印刷プロセスである。3D印刷は、試作品、金型、及び金型マスターを迅速に作製する際にしばしば使用される。3次元印刷技術は、材料の連続する層を加えることを含むために積層プロセスであるとみなされる。これは、最終物を生成するために材料の除去にしばしば頼る伝統的な機械加工プロセスとは異なる。3D印刷で

10

使用される材料はしばしば、いくつかの材料については、熱アシスト押出または焼結を用いて行うことができ、他の材料については、デジタルライトプロジェクションシ(digital light projection)技術を用いて行うことができる硬化または溶解を必要とする。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0002】

【特許文献1】(補充可能性あり)

【図面の簡単な説明】

【0003】

本開示のいくつかの例の特徴及び利点は、下記の詳細な説明及び図面を参照することによって明らかになる。それらの図面において、同じ参照番号は、(同一ではないかもしれないが)類似の構成要素に対応する。簡潔にするために、既に説明された機能を有する参照番号(で参照される構成要素)または特徴は、他の図面に関連して説明されている場合もあれば説明されていない場合もある。

20

【図1】本明細書に開示されている3D印刷方法の1例を示すフローチャートである。

【図2A】本明細書に開示されている3D印刷方法の1例を用いて3D物体の(1以上の)層を形成することに関わる1段階における断面図である。

【図2B】本明細書に開示されている3D印刷方法の1例を用いて3D物体の(1以上の)層を形成することに関わる1段階における断面図である。

【図2C】本明細書に開示されている3D印刷方法の1例を用いて3D物体の(1以上の)層を形成することに関わる1段階における断面図である。

30

【図2D】本明細書に開示されている3D印刷方法の1例を用いて3D物体の(1以上の)層を形成することに関わる1段階における断面図である。

【図2E】本明細書に開示されている3D印刷方法の1例を用いて3D物体の(1以上の)層を形成することに関わる1段階における断面図である。

【図2F】本明細書に開示されている3D印刷方法の1例を用いて3D物体の(1以上の)層を形成することに関わる1段階における断面図である。

【図3】図2Dの製作ベッド内の易焼結性材料の略平面図であり、合体剤(coalescent agent)が形成される層の断面内の該材料の一部に加えられ、改質剤が境界エッジにおいて該材料の別の部分に加えられている。

【図4】図2Dの製作ベッド内の易焼結性材料の一部の正面斜視図であり、合体剤が形成される3D物体の断面内の該材料の一部に加えられ、改質剤が該3D物体の断面のエッジ境界及び外側において該材料の別の部分に加えられている。

40

【図5】本明細書に開示されている3D印刷方法の1例において使用することができる3D印刷システムの1例の単純化した等角図である。

【図6A】本明細書に開示されている改質剤の1例を用いて形成された部分の写真である。

【図6B】図6Aの改質剤と同等の改質剤を用いて形成された同等の部分の写真である。

【図6C】図6Aの改質剤と同等の改質剤を用いて形成された同等の部分の写真である。

【図6D】図6Aの改質剤と同等の改質剤を用いて形成された同等の部分の写真である。

【図6E】図6Aの改質剤と同等の改質剤を用いて形成された同等の部分の写真である。

50

【図 6 F】図 6 A の改質剤と同等の改質剤を用いて形成された同等の部分の写真である。

【図 7】歯の長さ対改質剤の滴量のグラフである。

【図 8 A】図 8 B ~ 図 8 D とは異なる量の改質剤を用いて形成された部分の写真である。

【図 8 B】図 8 A、図 8 C、及び図 8 D とは異なる量の改質剤を用いて形成された部分の写真である。

【図 8 C】図 8 A、図 8 B、及び図 8 D とは異なる量の改質剤を用いて形成された部分の写真である。

【図 8 D】図 8 A ~ 図 8 C とは異なる量の改質剤を用いて形成された部分の写真である。

【発明を実施するための形態】

【0004】

10

本明細書（及び／又は図面。以下同じ）に開示されている 3 次元（3D）印刷方法のいくつかの例は光領域処理（light area processing）を利用する。光領域処理中に、易焼結性材料（または焼結性を有する材料（焼結性材料）。以下同じ）の層全体が（光）放射にさらされるが、易焼結性材料の選択された領域だけが、溶解し硬化して 3D 物体の層になる。本明細書に開示されているそれらの例では、合体剤（または合体助剤。以下同じ）が、該易焼結性材料の該選択された領域に接触するように選択的に堆積される。いくつかの例では、（1 以上の）合体剤は、該易焼結性材料の層に浸透することができる。他の例では、合体剤は、該易焼結性材料の表面に留まることができる。この合体剤は、放射を吸収することができ、かつ、吸収した該放射を熱エネルギーに変換することができ、該熱エネルギーによって、合体剤に接触している易焼結性材料が融合（もしくは溶解）するかまたは焼結する。これによって、該易焼結性材料が、焼結／融合（もしくは溶解）／結合／硬化などして、3D 物体の層が形成される。本明細書における「硬化」という用語は、硬化または焼結または融合（もしくは溶解）または結合（もしくはこれらに類似する現象）を意味することができる。

20

【0005】

いくつかの例では、熱エネルギーは、周囲の易焼結性材料中に伝搬できることがわかっている。これは、固まることが意図されていなかった易焼結性材料の（1 以上の）領域／（1 以上の）部分の後続の固化をもたらす場合があり、本明細書では、この効果を、合体ブリード（coalescence bleed）という。合体ブリードによって、たとえば、生成された 3 次元物体の全体的な寸法精度及び／又は部分的な寸法成長の低下が生じうる。たとえば、エッジの鮮鋭度が粗くなったり不明瞭になったりする場合がある。合体ブリードの効果を、本明細書に開示されている改質剤の 1 例を、放射線照射（または放射線暴露）の前に易焼結性材料の（1 以上の）適切な部分に加える（供給する）ことによって管理することができる。改質剤のいくつかの例は、合体の程度を低減するように作用し、または、改質剤が加えられているかまたは浸透している、易焼結性材料の一部分の合体を防止するように作用する。本明細書に開示されている例では、改質剤を実際に加える前に、該改質剤を（その位置及び／又は量に関して）加えるやり方を決定することもできる。これは、改質剤の効果を高め、及び／又は、寸法精度がより高い部分（ないし部品）を製造し、及び／又は、部分（ないし部品）の表面仕上げを改善し、及び／又は、（そのように決定しない場合には同様の問題に対処するために使用される）後処理技術の必要性を少なくするかもしれない。これはそれを不要にすることを可能にする。

30

40

【0006】

3D 印刷方法 100 の 1 例が図 1 に示されている。図 1 に示されている方法 100 のステップの各々は本明細書において詳しく説明され、いくつかの例では、図 2 A ~ 図 2 F、図 3 及び図 4 が図 1 に関連して説明される。

【0007】

方法 100 は、参照番号 102 で示されているように、易焼結性材料を加えるステップを含む。このステップ 102 の 1 例が、図 2 A の断面に示されている。図 2 A に示されている例では、易焼結性材料 16 の 1 つの層 10 が堆積されているが、これについては、より詳細に後述する。

50

【0008】

易焼結性材料16は、粉末または液体またはペーストまたはゲルでありうる。易焼結性材料16の例には、5より高い広い処理窓（processing window）を有する（すなわち、温度範囲が、融点と再結晶温度の間にある）半結晶熱可塑性材料（または半結晶熱可塑性プラスチック材料）が含まれる。易焼結性材料16のいくつかの特定の例には、ポリアミド（たとえば、ナイロン11、ナイロン12、ナイロン6、ナイロン8、ナイロン9、ナイロン66、ナイロン612、ナイロン812、ナイロン912など）が含まれる。易焼結性材料16の他の特定の例には、ポリエチレン、ポリエチレンテレフタレート（PET）、及びそれらの材料の非晶質（アモルファス）バージョンが含まれる。適切な易焼結性材料16のさらに他の例には、ポリスチレン、ポリアセタール、ポリプロピレン、ポリカーボネート、及び、本明細書に記載されている任意の2つ以上のポリマー（重合体）の混合物が含まれる。それらの材料のコアシェルポリマー粒子を使用することもできる。

10

【0009】

1例では、易焼結性材料16は、同様のサイズのポリマー粒子（たとえば全ての粒子のサイズが同じである粒子）を含んでいる。別の例では、易焼結性材料16は、サイズが異なるポリマー粒子を含んでいる。たとえば、易焼結性材料16に含まれる粒子の2つ以上は互いにサイズが異なる。図2Aに示されている例では、易焼結性材料16は、少なくとも3つの異なる粒子サイズ（粒子のサイズ）を含む複数のポリマー粒子16A、16B、16Cを含んでいる（ポリマー粒子16A、16B、16Cの粒子サイズは互いに異なっている）。図2Aには、互いにサイズが異なる3つのポリマー粒子16A、16B、16Cが示されているが、これより多い任意の数の粒子サイズを加えることもできる。

20

【0010】

図2Aに示されている例では、第1のポリマー粒子16Aの平均サイズは、第2のポリマー粒子16Bの平均サイズよりも大きく、第2のポリマー粒子16Bの平均サイズは、第3のポリマー粒子16Cの平均サイズよりも大きい。本明細書で使用されている「サイズ」という用語は、球形粒子の直径を意味し、または、非球形粒子の平均直径（たとえば該粒子の複数の直径ないしはわたしの平均）を意味する。一般に、第1、第2、及び第3の粒子16A、16B、及び16Cの各々の平均サイズは、5マイクロメートル（ μm ）～約100マイクロメートル（ μm ）にわたる範囲内にある。粒子16A、16B、及び16Cの各々の（異なる）サイズの例として、第1のポリマー粒子16Aの平均サイズを50 μm より大きいものとし、第2のポリマー粒子16Bの平均サイズを10 μm と30 μm の間とし、第3のポリマー粒子16Cの平均サイズを10 μm 以下とすることができる。

30

【0011】

粒子16A、16B、及び16Cの形状を同じとすることも異なるものとする你也可以。1例では、粒子16A、16B、及び16Cは、球形の形状またはほぼ球形の形状を有している。本明細書に開示されている例では、球形度が0.84より大きい粒子16A、16B、及び16Cは、球形またはほぼ球形であるとみなされる。したがって、球形度が0.84より小さい任意の粒子16A、16B、及び16Cは、非球形である。

40

【0012】

粒子16A、16B、及び16Cのうちの1以上を物理的に修飾して、粒子16A、16B、及び16Cの表面形状ないし表面構造を変えることもでき、及び/又は、粒子16A、16B、及び16Cのうちの1以上を化学的に修飾することもできる。

【0013】

易焼結性材料16は、ポリマー粒子16A及び/又は16B及び/又は16Cに加えて、帯電剤（charging agent）、または流動助剤（flow aid）、またはこれらの組み合わせを含むことができる。

【0014】

摩擦帯電を抑圧ないし阻止するために（1以上の）帯電剤を加えることができる。（1以上の）適切な帯電剤の例には、（エトキシ化することができる）脂肪族アミン、脂肪族

50

アミド、第四アンモニウム塩（たとえば、ベヘントリモニウムクロリド（behentrimonium chloride）またはコカミドプロピルベタイン）、リン酸のエステル、ポリエチレングリコールエステル、または多価アルコールが含まれる。いくつかの市販されている適切な帯電剤には、HOSTASTAT（商標）FA 38（天然系のエトキシ化アルキルアミン）、HOSTASTAT（商標）FE2（脂肪酸エステル）、及びHOSTASTAT（商標）HS 1（アルカンスルホネート）が含まれ、これらは、クラリアントインターナショナルリミテッドから入手可能である。1例では、帯電剤は、ポリマー粒子の総wt%（wt% = 重量百分率）に基づいて、0wt% ~ 5wt%の範囲内の量で加えられる。

【0015】

易焼結性材料16の被覆流動性（coating flowability）を改善するために、（1以上の）流動助剤を加えることができる。（1以上の）流動助剤は、粒子16A及び/又は16B及び/又は16Cのサイズが25µm未満であるときに特に望ましいものとなりうる。流動助剤は、摩擦、横向きの抗力、及び（粒子の導電性を高めることにより）摩擦帯電の蓄積を低減することによって易焼結性材料16の流動性を改善する。安定な流動助剤の例には、リン酸三カルシウム（E341）、粉末セルロース（E460(ii)）、ステアリン酸マグネシウム（E470b）、重炭酸ナトリウム（E500）、フェロシアン化ナトリウム（E535）、フェロシアン化カリウム（E536）、フェロシアン化カルシウム（E538）、骨質リン酸塩（E542）、ケイ酸ナトリウム（E550）、二酸化ケイ素（E551）、ケイ酸カルシウム（E552）、三ケイ酸マグネシウム（E553a）、タルカムパウダー（E553b）、アルミノケイ酸ナトリウム（E554）、ケイ酸アルミニウムカリウム（potassium aluminium silicate：E555）、アルミノケイ酸カルシウム（calcium aluminosilicate：E556）、ベントナイト（E558）、ケイ酸アルミニウム（E559）、ステアリン酸（E570）、または、ポリジメチルシロキサン（E900）が含まれる。1例では、流動助剤は、粒子16A及び/又は16B及び/又は16Cの総wt%（総重量百分率）に基づいて、0wt% ~ 5wt%の範囲内の量で加えられる。

【0016】

図2Aに示されている例では、3D物体を形成するための印刷システム12は、（易焼結性材料16の供給源を含む）供給ベッド（または供給台）14、供給ピストン18、ローラー20、（接触面25を有する）製作ベッド（または製作用台）22、及び、製作ピストン24を備えている。これらの物理的な要素の各々を、印刷システム12の中央処理装置（不図示）に動作可能に接続することができる。（たとえば、非一時的な有形のコンピューター可読記憶媒体に格納されているコンピューター可読命令を実行する）該中央処理装置は、それらの物理的な要素を制御して3D物体を生成するために、プリンターのレジスタ及びメモリ（記憶装置）内の物理的（電子的）な量として表されるデータを操作及び変換する。易焼結性材料16の選択的な供給のためのデータや合体剤などを、形成される3D物体のモデルから得ることができる。

【0017】

供給ピストン18及び製作ピストン24を同じタイプのピストンとすることができるが、それらは、（互いに）反対方向に動くようにプログラムされる。1例では、3D物体の第1の層が形成されるときは、易焼結性材料16の所定量を供給ベッド14内の開口から押し出すように供給ピストン18をプログラムすることができ、製作ベッド22の深さを深くするために、製作ピストン24が供給ピストン18と反対方向に動くように製作ピストン24をプログラムすることができる。供給ピストン18は、ローラー20が易焼結性材料16を製作ベッド22内の接触面25の上に押し入れることができるように十分に前進し、製作ベッド22の深さは、易焼結性材料16の層10をベッド22内に形成することができるのに十分なものである。ローラー20は、厚さが比較的均一である層10を形成するために製作ベッド22中に易焼結性材料16を広げることができる。1例では、層10の厚さは約90µmから約110µmにわたる範囲内の値であるが、これより厚いまたは薄い層を使用することもできる。

【0018】

ローラー 20 を、異なるタイプの粉末を広げるのに好ましいものでありうるブレードなどの他のツール（手段等）、または、ローラーとブレードの組み合わせで置き換えることができる。

【0019】

易焼結性材料 16 の層 10 が製作ベッド 22 内に堆積された後、（図 1 の参照番号 104 で及び図 2 B に示されているように）層 10 は加熱される（熱にさらされる）。加熱は、易焼結性材料 16 を予熱するために実行されるので、加熱温度は易焼結性材料 16 の融点よりも低いことが望ましい。そのため、選択される温度は、使用される易焼結性材料 16 に依存することになる。例示すると、加熱温度を、易焼結性材料の融点よりも低い約 50 ～ 約 500 とすることができる。1 例では、加熱温度は、約 500 から約 3500 にわたる範囲内の温度である。別の例では、加熱温度は、約 1500 から約 1700 にわたる範囲内の温度である。別の例では、易焼結性材料 16 が供給ベッド 14 上にある間に予熱の一部または全てを実行することができる。

10

【0020】

易焼結性材料 16 の層 10 の予熱を、製作ベッド 22 または供給ベッド 14 内の易焼結性材料 16 の全てを熱にさらす（加熱する）任意の適切な加熱源を用いて達成することができる。加熱源の例には熱源や光放射源がある。

【0021】

層 10 を予熱した後に、図 1 の参照番号 106 で及び図 2 C に示されているように、合体剤が、層 10 内の易焼結性材料 16 の一部に選択的に加えられる。図 2 C に示されているように、合体剤 28 をインクジェットプリントヘッド 26 から供給することができる。図 2 C には単一のプリントヘッドが示されているが、製作ベッド 22 の幅全体にわたる複数のプリントヘッドを使用することもできる。合体剤 28 を（1 以上の）所望の領域に堆積させるために、製作ベッド 22 に隣接してプリントヘッド 26 を移動させる可動式の X Y ステージまたは並進運動するキャリッジ（これらはいずれも図示されていない）に、プリントヘッド 26 を取り付けることができる。

20

【0022】

プリントヘッド 26 を、中央処理装置からの命令を受け取って、形成される 3 D 物体の層の断面のパターンにしたがって合体剤 28 を堆積させるようにプログラムすることができる。本明細書で使用されている、形成される物体の層の断面は、接触面 25 に平行な断面を意味する。プリントヘッド 26 は、融合ないし溶解して 3 D 物体の第 1 の層になる、層 10 の（1 以上の）それらの部分 44 に合体剤 28 を選択的に加える。1 例として、第 1 の層が立方体形状または円柱形状とされる場合には、合体剤 28 は、易焼結性材料 16 の層 10 の少なくとも部分 44 に、（上から見たときに）正方形パターンまたは円形パターンでそれぞれ堆積させられる。図 2 C に示されている例では、合体剤 28 は、層 10 の部分 44 の外側ではなく部分 44 上に正方形パターンで堆積させられる。

30

【0023】

適切な合体剤 28 のいくつかの例は、放射吸収結合剤（すなわち活性物質）を含む水性の分散物である。該活性剤を、赤外線吸収体または近赤外線吸収体または可視光吸収体とすることができる。1 例として、合体剤 28 を、活性物質としてカーボンブラックを含むインクタイプの配合物（ないし調合物）とすることができる。このインクタイプの配合物の 1 例は、ヒューレット・パッカードカンパニーから入手できる CM997A として商業的に知られている。活性剤として可視光増強剤を含むインクの例は、染料ベースのカラーインク及び顔料ベースのカラーインクである。顔料ベースのカラーインクの例には、ヒューレット・パッカードカンパニーから入手できる、商用のインク CE039A 及び CE042A が含まれる。

40

【0024】

合体剤 28 の水性は、合体剤 28 が、易焼結性材料 16 の層 10 中に少なくとも部分的に浸透することを可能にする。易焼結性材料 16 を疎水性とすることができ、合体剤 28 における共溶媒及び / 又は界面活性剤の存在は、所望のぬれ挙動を得るのを助けることが

50

できる。

【 0 0 2 5 】

単一の合体剤 2 8 を 3 D 物体の層を形成するために選択的に加えることができ、または、複数の合体剤 2 8 を 3 D 物体の層を形成するため選択的に加えることができることが理解されるべきである。

【 0 0 2 6 】

合体剤 2 8 を、(1 以上の) 所望の部分 4 4 に選択的に加える前に、またはそれと同時に、またはその後に、図 1 の参照番号 1 1 0 で示されているように、改質剤が、易焼結性材料 1 6 の (1 以上の) 異なるそれぞれの部分に選択的に加えられる。改質剤の選択的な供給の例が、図 2 D に概略的に示されており、該図において、参照番号 2 9 は改質剤を表しており、参照番号 4 2 は、改質剤 2 9 が選択的に加えられる、易焼結性材料 1 6 の他の部分を表している。

【 0 0 2 7 】

易焼結性材料 1 6 に加えられる改質剤 2 9 の量及び / 又は位置を制御するのが望ましい場合がある。改質剤 2 9 は、エネルギーを効果的に除去し、かつ、易焼結性材料 1 6 をある温度に維持する冷却剤として作用し、この場合、該ある温度は、易焼結性材料 1 6 の硬化を防止し、または易焼結性材料 1 6 の焼結及び / 又は熔融及び / 又は融合及び / 又は硬化を阻止しないし遅らせる温度である。そのため、改質剤 2 9 を実際に選択的に加える前に、方法 1 0 0 はさらに、改質剤 2 9 をどのようにして選択的に加えるか (選択的に加えるやり方) を決定するステップを含む。これは、図 1 の参照番号 1 0 8 で示されている。

【 0 0 2 8 】

改質剤 2 9 を選択的に加えるやり方に関する決定は、改質剤 2 9 をどこに加えるかを決定すること、及び / 又は、改質剤 2 9 をどれだけ量加えるかを決定することを含むことができる。これらの決定を、易焼結性材料 1 6 の熱拡散特性、または易焼結性材料 1 6 の形成される層 (すなわち焼結される層または部分) の熱拡散特性、またはそれらの組み合わせを用いて行うことができる。熱拡散特性を、熱拡散の時間スケール / 特性時間、及び / 又は熱拡散の長さスケール / 特性長、及び / 又は温度プロファイル、及び / 又はエネルギープロファイルとすることができる。

【 0 0 2 9 】

特性時間及び特性長は、系 (システム) が摂動から回復するのに必要なおよその時間もしくは距離を意味する。それらは、しばしば、摂動が、初期摂動の $1/e$ (約 3 7 %) に小さくなる時間もしくは距離として定義される。実際には、それらは、しばしば、摂動が有意な効果を有している時間もしくは距離を意味するために使用される。熱拡散の時間スケールは、一般に、エネルギーが加えられた後またはエネルギーが易焼結性材料の隣接領域から除去された後に、易焼結性材料の温度が安定する (温度の平衡値に近づく) のに要する時間を意味する。熱拡散の長さスケールは、一般に、焼結された熱い材料の存在に起因して温度が大きく上昇する部分の縁またはビルド面 (build surface) からの距離を意味する。例示として、該距離を、易焼結性材料の位置に対して水平方向または垂直方向の距離とすることができる。大きな温度変化もしくは温度上昇の例には、(i) 焼結された部分 / 層の温度と周囲の易焼結性材料の温度との差の約 2 5 % の温度上昇、または (ii) 周囲の易焼結性材料 1 6 の通常の温度と易焼結性材料 1 6 の融点との差の 2 5 % 、が含まれる。熱拡散の時間スケール及び / 又は長さスケールを実験的に測定することができ、または、系 (システム) 内のそれぞれの熱拡散係数もしくは温度差から得ることができる。熱拡散係数を、実験的に決定することができ、または類似の材料の値から推定することができ、または化学モデリング法によって推定することができる。

【 0 0 3 0 】

温度プロファイル及び / 又はエネルギープロファイルは、一般に、易焼結性材料 1 6 が示す、または、剤 2 8 及び / もしくは 2 9 を加えてまたは加えることなく焼結された部分 / 層が示す温度差及び / 又はエネルギー差を表す。例示として、それらの差を、(たとえば改質剤の蒸発に起因して) 放射線に暴露する前に観察することができ、または、(たと

えばエネルギー移行に起因して)放射線に暴露した後に観察することができる。この温度プロファイル及び/又はエネルギープロファイルを、熱モデルを用いて生成することができる。または、温度プロファイルもしくはエネルギープロファイルの予測値とすることができる。より詳細に後述するように、温度プロファイルまたはエネルギープロファイルの予測値を、3Dの部分層を形成するために使用される画像データを操作することに基づくものとすることができる。周囲の領域の平均値からの局所的な変化を計算することは、合体剤28が加えられる場合もあれば加えられない場合もある焼結された層/部分における温度差及び/又はエネルギー差のおおまかな予測値を提供する。

【0031】

本明細書に開示されている例のいくつかでは、改質剤29の適切な量及び/又は適切な位置を、焼結プロセスの時間依存性の熱モデルを用いて決定することができる。1例では、該熱モデル自体を用いて、改質剤の量を直接計算することができ及び/又は改質剤の位置を直接特定することができる。別の例では、該熱モデルを用いて温度プロファイルまたはエネルギープロファイルが生成され、それらのプロファイルを、改質剤29を加えるためのパターン(たとえば、位置及び/又は量)を生成するために補正アルゴリズムによって使用することができる。さらに他の例では、1以上の熱モデルを用いて、熱拡散の典型的な時間スケール及び/又は長さスケールを特定することができる。次に、該典型的な長さスケール及び/又は時間スケールを用いて、形成される3D物体の正確な幾何学的形状ないし構造を完全にモデル化することなく、改質剤の量を計算することができ、及び/又は改質剤の位置を決定できると考えられる。本明細書に開示されている他の例

【0032】

焼結プロセスの時間依存性熱モデルを含む例では、該熱モデルを計算モデリング(計算モデル化)法を用いて生成することができる。計算モデリング法は、非一時的な有形のコンピューター可読媒体に格納されているコンピューター可読命令を動作させ/実行する(プロセッサなどのハードウェアコンポーネントを含む)コンピューターによって実行される。計算モデリングソフトウェアの例は、Abaqus FEA バージョン6.13である。本明細書に開示されている任意の例において、コンピューター可読媒体は、たとえば、電子媒体、磁気媒体、光学式媒体、電磁媒体、または半導体媒体などの多くの物理媒体のうちの任意のものを含むことができる。適切なコンピューター可読媒体のより具体的な例には、ハードドライブ、ランダムアクセスメモリ(RAM)、読取り専用メモリ(ROM)、消去可能PROM(EPROM)、ポータブル(携帯型)CD、DVD、またはフラッシュドライブが含まれる。

【0033】

改質剤29を加えるやり方を決定するための計算モデリング法または任意のコンピューターベースの方法を、クラウドコンピューター(すなわち、インターネットベースのコンピューティング環境)において仮想化して構成することができる。たとえば、物理的な建物(ビル)にあるコンピューター機器をホストするのではなくクラウドインフラストラクチャを利用して、クラウドプラットフォームサービスすなわちPaaS(Platform as a Service)としてコンピューター機器にアクセスすることができる。IaaS(Infrastructure as a Service)として知られているクラウドインフラストラクチャは、典型的には、プロセッサ、データベース、サーバー、及び他のコンピューター機器などの構成要素を備えることができるプラットフォーム仮想化環境をサービスとして利用する。

【0034】

コンピューターは、熱モデルを作製するのに十分な特性を(たとえばユーザーからの入力として)受け取る。それらの特性は、モデル化される易焼結性材料16(たとえば、粉末のタイプ、異なる温度における熱伝導率、熱容量、及び密度ないし濃度)、層の数、層の厚さ、モデル化される合体剤28のタイプ(種類)、製作ベッド22の設定温度、及び、特定の層を形成するための時間に関連する。1例では、それらの密度(または濃度)、熱容量、及び熱拡散率は、未焼結の易焼結性材料16と焼結された材料の両方に提供され

る。未焼結の易焼結性材料 16 と焼結された材料との間の熱容量の変化は、それらの材料間の密度（または濃度）の変化に主に起因しえ、したがって、単一の熱容量値で十分でありうる。コンピューターに入力することができる特性のさらに他の例は、層が融解状態から固まる（凝固する）ときに放出されるエネルギー、及び／又は易焼結性材料 16 及び合体剤 28 が製作ベッド 22 に供給されるときに温度、及び／又はビルド容積の（1 以上の）エッジ面への予測されるエネルギー入力もしくは該エッジ面からのエネルギー損失である。いくつかの易焼結性材料 16 については、それらのパラメータ／特性のうちの任意のものまたは全てが温度とともに変わりうる。たとえば、それらのパラメータが、ビルドプロセス（形成プロセス）中に受ける温度範囲内で 10 % より大きく変化する場合には、温度依存性の挙動を含むことが望ましい場合がある。

10

【0035】

入力された特性はまた、易焼結性材料 16 の（硬化させられる）部分 44 と（硬化させられない）部分 42 の間の温度の差、比熱容量の差、及び熱拡散率の差を含むことができる。たとえば、適切な入力は、未焼結の領域（たとえば部分 42）と（それより多くの放射を熱に変換する）合体剤 28 を有する（1 以上の）部分 44 とによって熱に変換された放射の差を表すことができる。この入力を、硬化／焼結された（1 以上の）部分 44 と硬化されていない／未焼結の（1 以上の）部分 42 との間の温度差の実験的測定値とすることができる。他の一般的な特性は、（1 以上の）部分 44 よりも（1 以上の）部分 42 において、より大きな比熱容量及びより小さな熱拡散率を含むことができる。

【0036】

20

これらの特性の全ては、層または物体の熱モデルを作成するために（適切なソフトウェアプログラムを実行する）コンピューターによって使用される。有限要素解析または他のモデリング技法を使用して、対象とする時間スケールにわたって層または物体の周囲に生じる温度勾配を特定することができる。1 例では、対象とする時間スケールは、1 つまたはいくつかの層を形成するために必要な時間である。対象とする時間スケールにわたって層／部分の周囲に生じる温度勾配は、特定の熱モデルの熱拡散の長さスケールを特定する。熱拡散の時間スケールを、形成される部分層の数が異なる熱モデルを生成し、及び、特定の層における安定した予測状態への該熱モデルの収束のために、材料層の追加後に該モデルを動作させなければならない時間長を特定することによって決定することができる。

【0037】

30

層または物体が作製されている間の該層または物体の近くの温度を、該モデルに基づいて（たとえば、（1 以上の）温度勾配を用いて）推定することができる。そのため、熱モデルは、作製される層内または物体内及び該層の周囲または該物体の周囲の熱流の場所及びタイミングを決定するために使用される。より具体的には、製作ベッド 22 の設定温度を超える、（硬化するのが望ましくない）部分 42 における焼結された材料 16 の過剰な温度（ T ）は、該層または該物体から放出された過剰なエネルギーを表す。熱モデルまたは（IR（赤外線）カメラなどの高分解能温度測定装置を用いて測定された）実験的な測定値にしたがって、部分 42 における焼結された材料 16 の温度から該製作ベッドの設定温度を引くことによってこの過剰な温度を決定することができる。

【0038】

40

式 1 に示すように、温度差（ T ）を、未焼結の易焼結性材料 16 の比熱容量（ Cp_{SM} ）、密度（ den_{SM} ）、及び体積（ vol_{SM} ）を用いて、過剰なエネルギー量に変換することができる。

【数 1】

$$\text{過剰なエネルギー} = Cp_{SM} * vol_{SM} * den_{SM} * \Delta T \quad (\text{式 1})$$

部分 42 全体の過剰なエネルギーを特定することができる。そのため、この方法によって、該層または物体の周囲の過剰なエネルギーのマップを生成することができる。

【0039】

50

該過剰なエネルギーは、改質剤 29 によって除去されるエネルギー（すなわち除去されたエネルギー）の量と等価である。そのため、該過剰なエネルギーを、このエネルギー量を除去するのに適切な改質剤 29 の量に変換することができる。過剰なエネルギーのマップ及び変換された改質剤の量を用いて、該層または物体の周囲の改質剤 29 の求められる量のマップを生成することができる。そのため、この例では、使用される改質剤 29 の場所（位置）及び量の両方を決定することができる。

【0040】

過剰な / 除去されるエネルギーから改質剤の量への変換を、改質剤 29 の気化熱（ H_{vap-MA} ）に加えて、改質剤 29 の温度を適用温度（または供給温度）（ T_{app-MA} ）から沸点（ $T_{boil-MA}$ ）まで上昇させるための改質剤 29 の比熱容量（ Cp_{MA} ）を用いて達成することができる。改質剤 29 の量への過剰なエネルギーの変換を式 2 または式 3 に示す。

10

【数 2】

除去されたエネルギー＝

$$(Cp_{MA} * (T_{boil-MA} - T_{app-MA}) + H_{vap-MA}) * \text{改質剤の体積} \quad (\text{式 2})$$

$$\text{改質剤の体積} = \frac{\text{除去されたエネルギー}}{(Cp_{MA} * (T_{boil-MA} - T_{app-MA}) + H_{vap-MA})} \quad (\text{式 3})$$

【0041】

20

改質剤 29 の適用温度（または供給温度）（ T_{app-MA} ）を、室温（約 18 ～ 約 22）、または、プリントヘッド 26'（図 2 D 参照）もしくは他の供給装置（たとえば、インクジェットプリントヘッドの加温温度（もしくは保温温度）または動作温度）によって制御される温度、または、改質剤 29 がシステム 12 の加熱された製作ベッド 22 中に供給されるときに該改質剤が達する典型的な温度とすることができる。加熱エネルギーと気化エネルギーの和の項に改質剤 29 の体積を乗じたものは、改質剤 29 が該システムから除去する総エネルギー（すなわち除去されるエネルギー）に等しい。

【0042】

改質剤 29 が加熱された易焼結性材料 16 に加えられた後で、改質剤 29 は、蒸発（気化）して、易焼結性材料 16 からエネルギーを除去することが理解されよう。蒸発（の持続時間）は十分の数秒のオーダーでありえ、これによって、硬化エネルギー（すなわち放射 R。図 2 E 参照）を加える前にかなりの量が除去されうる。これによって、エネルギーが時間の経過と共に移動（移行）する冷却領域が生成されうる。換言すれば、エネルギーは、改質剤 29 によって冷却された（1 以上の）部分 42 中に拡散することができる（これによって局所的な冷却のロスが生じる）。エネルギーの（量の点での）二次的なこの移動を、モデリング方法または実験的方法によって推定することができる。この場合、この効果を補償するためにこの量だけ、除去されるエネルギーの量（すなわち、上記式 3 における除去されるエネルギー）を増加させることができる。

30

【0043】

熱モデルを用いて二次的な移動から生じるエネルギーの量を決定するために、改質剤 29 を加えた後所望の遅延時間の間、該熱モデルを動作させることができる。改質剤 29 を、エネルギーを即時に簡単に除去するものとして、または、蒸発や他の流体挙動を含むサブモデルとして該モデルに組み込むことができる。

40

【0044】

実験的方法を用いて二次的な移動から生じるエネルギーの量を決定するために、放射を加えてからある遅延後に、下記の実験的方法で説明する温度測定を行うことができる。

【0045】

改質剤 29 を加えるやり方を決定するための実験的方法の 1 例をこれから説明する。この実験的方法から、改質剤の量に対する、改質剤 29 の量によって影響を受ける温度変化の表（テーブル）を作成することができる。この温度変化は、放射にさらされた後の（合

50

体剤 2 8 も改質剤 2 9 も有さない) 易焼結性材料 1 6 の温度と放射にさらされた後の(改質剤 2 9 を有する) 易焼結性材料 1 6 の温度との差を意味する。この例では、任意の温度測定を、赤外線(I R) カメラや I R 温度センサーや低質量の熱電対などの任意の適切な温度装置で実施することができる。

【 0 0 4 6 】

該方法のこの例では、該表を、易焼結性材料 1 6 のそれぞれの領域に改質剤 2 9 のそれぞれ異なる量を加え、及び、易焼結性材料 1 6 の 1 つの領域に改質剤 2 9 を加えないことによって作成することができる。その後、易焼結性材料 1 6 全体を放射線にさらすことができる。放射線にさらされた改質剤 2 9 を有しない領域は基準領域と呼ばれ、放射線にさらされた改質剤 2 9 のそれぞれに異なる量を有する領域は試験領域と呼ばれる。基準領域と試験領域の温度を測定することができる。改質剤 2 9 を受け取ったそれぞれの試験領域の温度は、放射線を受けた後には、基準領域の温度よりも低いはずである。特定の試験領域において、基準領域に比べて温度が低くなるのは、関連する改質剤の量の効果である。これらの温度変化を計算して、該表を生成するために使用される改質剤 2 9 のそれぞれに異なる量に関連付けることができる。同じかまたは類似の易焼結性材料 1 6 及び改質剤 2 9 を使用する後続の 3 D 印刷アプリケーションでは、所望の温度変化を達成するために使用する改質剤 2 9 の量を決定するために該表を参照することができる。

【 0 0 4 7 】

さらに別の例では、熱拡散の長さスケールを実験的に決定することができる。この例では、試験層 / 部分が使用される。試験層 / 部分は、実際の 3 D 物体 / 層に使用されるのと同じ易焼結性材料 1 6 及び合体剤 2 8 から構成されている。該試験層 / 部分に対して、合体剤 2 8 を、正方形などの単純な幾何学的形状、または実際の 3 D 物体に類似の幾何学的形状で加えることができる。該試験部分のサイズは、熱拡散の決定されている長さスケールと比較して大きい(たとえば少なくとも 3 倍大きい)ことが必要である。1 例では、半インチが十分なサイズでありうる。しかしながら、該決定されている長さスケールが、該物体のサイズの 1 / 3 よりも大きい場合には、より大きな試験部分サイズを用いて試験を再度行う必要がある。該試験層 / 部分には改質剤 2 9 は使用されない。合体剤 2 8 を加えかつ放射線にさらした後で、該試験層 / 部分が形成される。該試験層 / 部分を形成するときの合体剤 2 8 の位置が、該試験層 / 部分において焼結する材料 1 6 の実際の範囲と比較される。この比較の間、該試験層 / 部分について、加えられた合体剤 2 8 のエッジ境界を越えて / 該エッジ境界の外側に配置された望ましくない焼結された材料がないかが検査される。この望ましくない焼結された材料の長さが測定される。この値、または、この値にスカラー補正係数を乗じたものが、他の例で可以使用することができる推定された長さスケールである。実際の 3 D 物体の幾何学的形状が使用される場合には、望ましくない焼結された材料の領域を用いて、実際の 3 D 物体 / 層の形成中に改質剤 2 9 用の位置を推定することができる。

【 0 0 4 8 】

その後、実際の 3 D 物体 / 層を形成するときに、合体剤 2 8 を同じ位置(場所)に加えることができ、改質剤 2 9 を該推定された長さスケールに沿って加えることができる。エッジ境界 2 7 の近くで改質剤 2 9 を使用することによって、形成される層のエッジにおける(1 以上の)部分 4 2 内の易焼結性材料 1 6 の温度を低くすることができるが、エッジ境界 2 7 に沿った(1 以上の)部分 4 4 内の焼結または溶解の質を低下させることもできる。該層の断面内のこのエネルギー損失を、(1 以上の)部分 4 4 内の合体剤 2 8 の量を多くすることによって補償することができる。

【 0 0 4 9 】

さらに、該熱モデルは、層 / 部分の内部が熱すぎる(すなわち過剰なエネルギーが存在する)ことを予測することもできる。該層 / 部分の断面内のこのエネルギー増加を、(1 以上の)部分 4 4 内の合体剤 2 8 の量を減少させ、及び / 又は(1 以上の)部分 4 4 内の改質剤 2 9 の量を増加させることによって補償することができる。この例では、加えるべき改質剤 2 9 の量を(この例では、除去されるエネルギーは、該層 / 部分の断面内の特定

の位置における過剰なエネルギーである点を除いて)式3を使って計算することができる。

【0050】

合体剤28の増加量または減少量を、どれだけの量の改質剤29を選択的に加えるかを決定するのと類似のやり方で決定することができる。たとえば、熱モデルの温度値をエネルギー量に変換することができ、合体剤の量対吸収されたエネルギーのモデル化された表または実験的な表を用いて、合体剤28の追加量を決定することができる。

【0051】

合体剤28の濃度が十分低くて、ベールの法則(吸光度 $A = \epsilon c l$ = 吸光係数 × 光路長 × 濃度)が適用される場合には、必要な合体剤28の量は、所望の温度変化と直線(線形)関係がある。合体剤28の濃度がより高い場合には、吸光係数が小さくなり、該所望の変化を達成するために追加の合体剤28が必要になりうる。これを、モデル化することができ、または、それぞれ異なる量の合体剤で覆われた易焼結性材料16のそれぞれの部分に放射線が加えられた後に温度を比較することによって実験的に決定することができる。モデルベースのソリューションは、合体剤28の吸収挙動、製作ベッド22の表面からの放射損失もしくは対流損失に加えて、合体剤28の一部として加えられる揮発性溶剤を蒸発させる冷却効果を組み込むことを必要としうる。

【0052】

他の例では、コンピューターは補正アルゴリズムを備えることができる。補正アルゴリズムを使用して、修正された画像を生成して、形成される3D物体のそれぞれの層画像の熱拡散効果を補正することができる。

【0053】

一般的に、補正アルゴリズムは、該層画像の3D形状情報、及び該3D形状に関連する温度/エネルギープロファイルを利用して、改質剤29を加えるための(位置情報及び/又は量情報を含む)パターンを生成する。該3D形状情報は、1つの層、またはいくつかの層、または部分全体に関する情報を含むことができ、さらに、合体剤28の選択的な付与を示す(1以上の)値を含むことができる。たとえば、熱モデルで使用されるか、または、3D形状情報の操作(ないし処理)で使用される合体剤28の空間的に変化する量が存在しうる。

【0054】

これらの例では、3D形状情報を熱モデルに供給することができ、及び、温度/エネルギープロファイルを自動的に生成することができる。代替的には、(後述する)3D形状情報の操作を用いて、熱モデルを使用することなく(局所的な温度/エネルギー変化のマップの形式で)温度/エネルギープロファイルの予測値を生成することができる。

【0055】

3D形状情報の操作を使用する例では、形成領域(ビルド領域)内の局所的な温度/エネルギー変化のマップを、空間平均技術(spatial averaging technique)に基づいて該3D層画像から作成することができる。以下の例では、元の層画像が合体剤28を受け取る必要がある(1以上の)部分44を表す正の値と、合体剤28を受け取らない(1以上の)部分42を表すゼロの値とを有するデータから構成されること、または、該元の層画像を該データに変換できることが想定されている。しかしながら、それらの値を所望に応じて交換できることが理解されるべきである。これらの値の表記法は、この例を明確にするために使用されている。意図した結果を達成するために、他の値の表記法及び演算操作を使用できることが理解されよう。

【0056】

層画像の半径(該半径の平均を取ることができる)を、熱モデル内に見出された熱拡散の特性長によって、または、過剰な部分成長の実験的測定によって決定することができる。この実験的測定を、合体剤28を用いて公称長さ(nominal length)の部分を作成し、及び、(改質剤29が使用されないときの)放射線暴露後の寸法誤差を公称寸法に対してプロットすることによって実行することができる。この例では、最良適合直線(ベストフ

10

20

30

40

50

ットライン)のY軸(長さがゼロの部分)との切片は該特性長とほぼ同じであるはずである。この実験的測定を、(たとえば、該試験層/部分に関する)長さスケールに関して前述したように実施することもできる。

【0057】

局所的な温度/エネルギー量の大まかなマップを、それぞれの位置(すなわち画素)の半径内のすべての画素の値を平均することによって、該それぞれの位置において計算することができる。ガウス平均関数(Gaussian averaging function)、または、他の適切な平均化関数を用いて平均を行うことができる。元の画素値と指定された半径内の全ての画素の平均値との差は、その画素位置に改質剤29を用いるために補正することができるエネルギー不均衡の量を示す。より具体的には、平均画素値が実際の画素値より大きいとき(たとえば、差が負のとき)は、これは、改質剤29による冷却が望ましいことを示している。実際の画素値が平均画素値より大きいとき(たとえば、差が正のとき)は、これは、改質剤29を使うべきではないこと、または、合体剤28の追加量をその位置に加えることができることを示している。正の差の値を元の画素値に直接加えて、合体剤28の量を変更することができ、または、該正の差の値にスカラー調整係数を乗じることができ、または、該正の差の値を、元の画素値に加えるべき量を見出すためのルックアップテーブル内のインデックス(索引)として使用することができる。改質剤29については、負の差の値を、直接使用することができ、または、該負の差の値にスカラー調整係数を乗じることができ、または、適切な量を見出すためのルックアップテーブル内のインデックス(索引)として使用することができる。これらの差の値から、合体剤28及び/又は改質剤29を加えるためのパターンを生成することができる。

【0058】

補正アルゴリズムは、層画像の異なる複数の部分において正の差及び負の差の両方を生じることが理解されるべきである。それらの例では、改質剤29と合体剤28の両方の量を調整することができる。すべての正の差が得られるときは、改質剤29の使用は望ましくない場合がある。

【0059】

最終の補正画像(すなわち、平均化された画像減算の結果または熱モデル結果によって修正された画像)をハーフトーン処理する、すなわち、該補正画像内の強度(または輝度)情報に対応するドットの空間的なパターンに変換することができる。

【0060】

層製作の時間と熱緩和(放射線暴露からのクールダウン)の特性時間との相対的な大きさに依存して、単一の層ではなく、3D物体の幾何学的形状の複数の層を平均することによって補正アルゴリズムを実行することが望ましい場合がある。

【0061】

改質剤29の所望の位置及び/又は量がモデル化によって決定されようが実験的に決定されようが、その決定がなされた後は、(図1の参照番号110で及び図2Dに示されているように)改質剤29は、易焼結性材料16の所望の(1以上の)部分42に、または、いくつかの例では(1以上の)部分44に、選択的に加えられる。

【0062】

本明細書に開示されている例では、改質剤29には、界面活性剤、共溶媒、水、及び、オプションとしてバイオサイド(たとえば殺生物剤)が含まれる。いくつかの例では、改質剤29はこれらの成分からなり、他の成分を含まない。この特定の成分の組み合わせは、合体ブリードを効果的に低減もしくは防止することがわかっているが、これは、1つには、水及び共溶媒は、それらの近傍にある(たとえばそれらと熱的に接触している)易焼結性材料16に対して蒸発冷却をもたらすからである。改質剤29の1.3ミリグラム(mg)/ cm^2 の蒸発は、易焼結性材料16の最大3ジュール(J)/ cm^2 を除去できると考えられている。このエネルギー損失は、易焼結性材料16の(たとえば、易焼結性材料16の100マイクロメートルの層当たり4~5 J/cm^2 を必要としうる)加熱及び硬化を阻止するのに十分なものである。

【 0 0 6 3 】

さらに、改質剤 2 9 に使用される共溶媒は、水よりも小さい熱拡散率を有する。そのため、共溶媒は水よりも熱伝達能力が小さい。この特性は、改質剤 2 9 を、焼結された材料から改質剤 2 9 を有する未焼結の周囲部へのエネルギーの流れを低減することが可能なものにする。そのため、改質剤 2 9 は、エネルギーの望ましくない移動を低減するのを助ける。

【 0 0 6 4 】

したがって、本明細書に開示されている改質剤 2 9 は、易焼結性材料 1 6 が改質剤 2 9 と熱的に接触しているときに易焼結性材料 1 6 の硬化を効果的に低減または阻止することができる。

【 0 0 6 5 】

改質剤 2 9 中の共溶媒の総量は、改質剤 2 9 の総重量に対して約 5 . 0 wt % から約 3 0 wt % に及ぶ範囲内にある。上記したように、適切な共溶媒は、少なくとも水よりも熱拡散率が小さい。いくつかの例では、さらに、(1 以上の) 共溶媒は 2 3 0 よりも高い沸点を有することが望ましい。適切な共溶媒の例とそれらの物理的性質のいくつかを表 1 に示す。

【 表 1 】

表 1－改質剤共容媒

溶媒	熱拡散率 (mm ² /s)	熱伝導率 (W/(m*K))	比熱 (J/(g*K))	密度 (g/m ³)	沸点 (°C)	引火点 (°C)
水	0.162	0.680	4.19	1.00E+06	100	N/A
トリメチロールプロパン	0.145	0.256	1.58	1.12E+06	296	148
グリセロール	0.093	0.285	2.43	1.26E+06	290	160
1,2,4-ブタントリオール	0.044	0.199	3.70	1.22E+06	304	154
1,5-ペンタンジオール	0.069	0.211	3.08	9.94E+05	239	129
1,4-ブタンジオール	0.105	0.211	1.99	1.01E+06	228	106
2-ピロリジノン	0.088	0.194	1.97	1.12E+06	245	136
2-ヒドロキシエチル-2- ピロリジノン	データなし	データなし	データなし	1.16E+06	296	133
トリプロピレングリコール (TPG)	0.082	0.165	1.97	1.02E+06	265	143
ジプロピレングリコール	0.075	0.167	2.18	1.02E+06	232	124
テトラエチレングリコール	0.078	0.191	2.18	1.12E+06	328	177
トリエチレングリコール	0.080	0.196	2.18	1.13E+06	288	166
トリプロピレングリコール メチルエーテル	0.075	0.154	2.12	9.63E+05	243	121
トリエチレングリコールn- ブチルエーテル	0.076	0.160	2.13	9.90E+05	289	156

表 1 に記載されている共溶媒の (1 以上の) 組み合わせを使用することもできると考えられる。

【 0 0 6 6 】

改質剤 2 9 はまた界面活性剤を含む。界面活性剤の種類及び量を、易焼結性材料 1 6 の接触線との接触角が 9 0 ° より小さくなるように選択することができる。いくつかの例では、該接触角を 4 5 ° より小さくすることができるが、これは、改質剤 2 9 による易焼結性材料 1 6 の濡れを確保するために望ましいものでありうる。

【 0 0 6 7 】

改質剤 2 9 の成分を混ぜ合わせ、次に、界面活性剤の量を調節して所望の接触角を達成することができる。界面活性剤の適切な量は、該界面活性剤の強度、及び / 又は、(2 以上の) 界面活性剤の組み合わせが使用されるか否かに部分的に依存して変わりうるということがわかっている。1 例では、界面活性剤の量を、改質剤 2 9 の総重量に対して最大約 1 . 5

wt %とすることができる。適切な界面活性剤の例には、アセチレンジオール化学に基づく自己乳化性の非イオン湿潤剤（たとえば、Air Products and Chemicals, Inc. のSURFYNOL（商標）SEF、ペルフルオロ系のエトキシ化した非イオンフッ素系界面活性剤（perfluoro-basedethoxylated nonionic fluorosurfactant）（Tyco Fire & SecurityGMBH LLCのCHEMGUARD（商標）S-550-100）、非イオンフッ素系界面活性剤（たとえば、ZONYL FSOとして従来知られていたDuPontのCAPSTONE（商標）フッ素系界面活性剤）、及びこれらの組み合わせが含まれる。

【 0 0 6 8 】

上記したように、いくつかの例では、改質剤 2 9 はバイオサイドも含む。バイオサイドは、改質剤 2 9 の一部であるときは、改質剤 2 9 の総重量に対して約 0 . 0 1 wt % から約 0 . 2 wt % にわたる範囲内の量で存在する。適切なバイオサイドの 1 例は、1 , 2 - ベンゾイソチアゾリン - 3 - オン（たとえば、Arch Chemicals, Inc. のPROXEL（商標）GXL）の水溶液である。

【 0 0 6 9 】

改質剤 2 9 の残りは水である。そのため、水の量は、含まれている界面活性剤及び共溶媒の量、いくつかの例ではさらにバイオサイドの量に依存して変わりうる。1 例では、水の量は、改質剤 2 9 の総重量の約 7 0 wt % から約 9 5 wt % の範囲内にある。

【 0 0 7 0 】

改質剤 2 9 を、合体剤 2 8 と同様のやり方で選択的に加えることができる。1 例では、1 パスまたは複数パスを用いて、改質剤 2 9 を、合体剤 2 8 を加える（供給する）のと同時に加えることができる。別の例では、改質剤 2 9 を、合体剤 2 8 を加える前または加えた後に加えることができる。

【 0 0 7 1 】

図 2 D に示されているように、改質剤 2 9 をインクジェットプリントヘッド 2 6 ' から供給することができる。図 2 D には 1 つのプリントヘッドが示されているが、製作ベッド 2 2 の幅全体にわたる複数のプリントヘッドを使用できることが理解されるべきである。プリントヘッド 2 6 ' を、プリントヘッド 2 6 ' を製作ベッド 2 2 に隣接して移動させる可動式の X Y ステージまたは並進運動するキャリッジ（これらはいずれも図示されていない）に取り付けて、所望の（1 以上の）領域に改質剤を堆積ないし付着させることができる。プリントヘッド 2 6 ' を、中央処理装置（CPU）から命令を受け取って、改質剤 2 9 を所望の（1 以上の）部分 4 4 及び / 又は 4 2 に堆積ないし付着させるようにプログラムすることができる。

【 0 0 7 2 】

1 例では、形成される 3 D 物体の層の（1 以上の）エッジの強調、精細化、平滑化などを行うことが望ましい。この例では、合体剤 2 8 を、3 D 物体の層の断面（該断面は接触面 2 5 に平行である）のパターンにしたがって選択的に加えることができ、改質剤 2 9 を、該断面のエッジ境界 2 7 の少なくとも一部に沿って選択的に加えることができる。この 1 例が図 2 D（システム 1 2 の垂直断面図）及び図 3（製作ベッド 2 2 内の易焼結性材料 1 6 の平面図）に示されている。これらの図に示されている例では、形成される 3 D 物体の層の形状は直方体形状（または底面が長方形の角柱の形状）であり、接触面 2 5 に平行な断面のパターンは、エッジ境界 2 7 を有する正方形もしくは長方形である。エッジ境界 2 7 内の易焼結性材料 1 6 は、合体剤 2 8 が選択的に加えられる部分 4 4 である。エッジ境界 2 7 と製作ベッド 2 2 のエッジとの間に配置された易焼結性材料 1 6 は、形成される層の断面のパターンの外側にあり、したがって、改質剤 2 9 が選択的に加えられる部分 4 2 である。

【 0 0 7 3 】

図 4 は、2 つの部分 4 2 及び 4 4 の各々の一部の正面斜視図である。図 4 は、合体剤 2 8 と改質剤 2 9 が易焼結性材料 1 6 に加えられた後の該易焼結性材料 1 6 の一部を示している。図示のように、合体剤 2 8 は、部分 4 4 内の易焼結性材料 1 6 の粒子 1 6 A、1 6 B、1 6 C の間の空隙 3 1 のうちの少なくともいくつかに入り込むことができる。同様に

10

20

30

40

50

、改質剤 29 は、エッジ境界 27 の外側の部分 42 内の易焼結性材料 16 の粒子 16A、16B、16C の間の空隙 31' のうちの少なくともいくつかに入り込むことができる。他の例では、合体剤 28 及び / 又は改質剤 29 は空隙 31、31' に入り込むことはできないが、易焼結性材料 16 の層 10 の露出した面上に広がることができる。図 2D、図 3 及び図 4 に示されている例では、改質剤 29 は、易焼結性材料 16 の部分 42 の硬化（融合や焼結など）を阻止することができ、一方、合体剤 28 は、易焼結性材料 16 の部分 44 の硬化（融合や焼結など）を促進することができる。

【0074】

別の例では、3D 物体の層の断面（該断面は接触面 25 に平行である）のパターン内のエネルギーの量（または温度）を小さくする（または低くする）ことが望ましい場合がある。この例では、合体剤 28 を、3D 物体の層の断面（該断面は接触面 25 に平行である）のパターンにしたがって選択的に加えることができるが、その量は、所望の領域におけるエネルギーの量を小さくするために減らされうる。この例では、代替的には、合体剤 28 を、3D 物体の層の断面（該断面は接触面 25 に平行である）のパターンにしたがって選択的に加えることができ、所望の領域におけるエネルギーの量を小さくするために、改質剤 29 を該断面の少なくとも一部内に選択的に加えることができる。このため、改質剤 29 を、合体剤 28 が加えられる易焼結性材料 16 の部分 44 の全てもしくは一部に加えることができる。1 例として、改質剤 29 を、硬化中により高い温度を示す易焼結性材料 16 の部分 44 の中心部にまたは該中心部の近くに加え、易焼結性材料 16 の部分 44 のエッジ境界 27 の近くには加えないようにすることができる。

【0075】

合体剤 28 と改質剤 29 を所望の部分 44、42 にそれぞれ選択的に加えた後に、易焼結性材料 16 の層 10 の全体が放射線 R にさらされる（暴露される）。これは、図 1 の参照番号 112 で及び図 2E に示されている。

【0076】

放射線 R は、赤外線硬化ランプ、近赤外線硬化ランプ、UV 硬化ランプ、可視光硬化ランプ、赤外線発光ダイオード、近赤外線発光ダイオード、UV 発光ダイオード、可視光発光ダイオード（発光ダイオード = LED）、または特定波長のレーザーなどの放射源（放射線源）30 から放射される。使用される放射源 30 は、使用される合体剤 28 の種類に少なくとも部分的に依存する。放射源 30 を、たとえば、（1 以上の）プリントヘッド 26、26' を保持するキャリッジに取り付けることができる。キャリッジは、放射源 30 を製作ベッド 22 に隣接する位置に移動させることができる。放射源 30 を、中央処理装置からの命令を受けて、合体剤 28 及び改質剤 29 を含む層 10 を放射線 R にさらすようにプログラムすることができる。放射線 R を加える時間の長さ、すなわち、エネルギー曝露時間（energy exposure time）は、たとえば、放射源 30 の特性と易焼結性材料 16 の特性と合体剤 28 の特性とのうちの 1 以上に依存しうる。

【0077】

合体剤 28 と改質剤 29 の選択的な供給と放射線への暴露との間の時間を、0.05 秒から約 6 秒までの範囲内とすることができる。本明細書に開示されている改質剤 29 による所望の冷却効果を達成するために、該供給と放射線への暴露との間の時間を短くすることができ、及び / または、改質剤 29 の量を増やすことができる。時間及び / または量を調節することによって、選択された部分の温度が、（1 以上の）部分 42 の硬化を阻止ないし抑制するのに十分な時間の間低下した状態を維持する一方で、（1 以上の）部分 44 において硬化が起こる。これは、（1 以上の）部分 42 が蒸発に起因してそれらの周囲部よりも冷たい（温度が低い）ときに、（1 以上の）部分 42 へのエネルギー移動が経時的に起こりうるので望ましいことである。

【0078】

合体剤 28 は、放射線 R の吸収を高め、吸収された該放射線を熱エネルギーに変換し、及び、該合体剤の近くにある易焼結性材料 16（すなわち、合体剤 28 と熱的に接触している易焼結性材料 16）への該熱エネルギーの伝達を促進する。1 例では、合体剤 28 は

、部分４４内の易焼結性材料１６の温度を融点より十分に高くして、粒子１６Ａ、１６Ｂ、１６Ｃの硬化（たとえば、焼結、結合、融合など）が起こるのを可能にする。

【００７９】

さらに、合体剤２８は加えられないが改質剤２９が加えられる易焼結性材料１６の部分４２はいくらかのエネルギーを吸収することが理解されるべきである。しかしながら、改質剤２９は、吸収したエネルギーを隣接する易焼結性材料１６へとよりゆっくりと拡散させることができ、改質剤２９の蒸発によってエネルギーが除去される。そのため、これらの例では、（１以上の）部分４２内の粒子１６Ａ、１６Ｂ、１６Ｃは、一般に、粒子１６Ａ、１６Ｂ、１６Ｃの（それぞれの）融点を超えず、したがって、硬化しない。

【００８０】

放射線Ｒへの暴露（放射線Ｒの照射）によって、形成されることになる３Ｄ物体４０の１つの層３２（図２Ｆを参照）が形成される。

【００８１】

後続の層３４、３６、３８（図２Ｆ）を生成して、最終的に３Ｄ物体４０を形成するために、（図２Ａ～図２Ｆに関連して説明した）図１のステップ１０２～１１２を必要な数だけ繰り返すことができる。合体剤２８が加えられた易焼結性材料１６の部分からのエネルギーの付与中に吸収された熱は、層３２などの既に固化している層に伝搬することができ、これによって、該層の少なくとも一部がその融点を超えて加熱されることが理解されるべきである。この効果は、３Ｄ物体４０の隣接する層間に強い層間結合を生成するのを助ける。

【００８２】

図２Ｆは、製作ベッド２２内の３Ｄ物体４０の１例を示している。しかしながら、続いて形成された層３４、３６、３８は、形成されることになる３Ｄ物体４０のサイズや形状などに依存して、任意の所望の形状及び／又は厚さを有することができ、また、任意の他の層３２、３４、３６、３８と同じもしくは異なるものとすることができることが理解されるべきである。

【００８３】

図２Ｆに示されているように、後続の層３４、３６、３８が形成されているので、供給ピストン１８は、供給ベッド１４の開口部のより近くまで押し上げられ、供給ベッド１４内の易焼結性材料１６の供給量が（たとえば、該方法の最初の時点である図２Ａに比べて）減少する。易焼結性材料１６の後続の（１以上の）層、選択的に加えられた合体剤２８、及び選択的に加えられた改質剤２９に対応するために、製作ピストン２４は、製作ベッド２２の開口部からさらに離れる方向に押し下げられる。それぞれの層３２、３４、３６、３８が形成された後に、易焼結性材料１６の少なくとも一部が硬化していないままとなるので、３Ｄ物体４０の少なくとも一部は、製作ベッド２２において、硬化していない易焼結性材料１６及び改質剤２９によって囲まれる。

【００８４】

３Ｄ物体４０が完成すると、該３Ｄ物体を製作ベッド２２から取り出すことができ、及び、硬化していない易焼結性材料１６と改質剤２９とを互いに分離することができる。これを、水で洗うことによって行うことができる。硬化していない易焼結性材料１６を洗い、その後、再使用することができる。

【００８５】

図５には、印刷システム１２'の別の例が示されている。システム１２'は、積層印刷システム１２'の一般的な動作を制御する中央処理装置４６を備えている。１例として、中央処理装置４６を、たとえば（不図示の）通信バスを介してメモリ（記憶装置）５０に結合されたマイクロプロセッサベースのコントローラとすることができる。メモリ５０は、コンピューター可読命令（コンピューター読み取り可能命令）４８を格納している。中央処理装置４６は、命令４８を実行することができ、したがって、命令４８にしたがってシステム１２'の動作を制御することができる。

【００８６】

この例では、印刷システム 12' は、支持部材（「支持体」ともいう）58 上に提供された易焼結性材料 16 の層（図 5 には示されていない）の（1 以上の）部分 44 に合体剤 28 を選択的に供給する（加える）ための合体剤供給器（合体剤ディストリビューターともいう）26 を備えている。この例では、印刷システム 12' はまた、支持部材 58 上に提供された易焼結性材料 16 の層（図 5 には示されていない）の他の（1 以上の）部分 42 及び / または（1 以上の）部分 44 に改質剤 29 を選択的に供給する（加える）ための改質剤供給器（改質剤ディストリビューターともいう）26' を備えている。

【0087】

1 例では、支持部材 58 は、約 10 cm × 10 cm から約 100 cm × 100 cm までの範囲内の寸法を有するが、形成される 3D 物体 40 に依存して、支持部材 58 は、これより大きいかまたは小さい寸法を有することができる。

10

【0088】

中央処理装置 46 は、供給制御データ 52 にしたがって、易焼結性材料 16 の層への合体剤 28 及び改質剤 29 の選択的な供給を制御する。

【0089】

図 5 に示されている例では、それらの供給器 26、26' は、サーマルプリントヘッドや圧電インクジェットプリントヘッドなどのプリントヘッドであることが理解されるべきである。プリントヘッド 26、26' を、ドロップオンデマンドプリントヘッド、または、コンティニュアスドロッププリントヘッドとすることができる。

【0090】

20

プリントヘッド 26、26' を用いて、合体剤 28 及び改質剤 29 を（これらが適切な流体の形態であるときに）それぞれ選択的に供給することができる。上記したように、合体剤 28 と改質剤 29 の各々は、プリントヘッド 26、26' からそれらの剤を供給できるようにするために、水、（1 以上の）共溶媒、（1 以上の）界面活性剤などの媒体（vehicle）を含んでいる。

【0091】

1 例では、約 180 ドット / インチ（DPI）から約 1200 DPI までの範囲内の分解能で合体剤 28 及び改質剤 29 の滴を加えるように、プリントヘッド 26、26' を選択することができる。他の例では、これより高いかまたは低い分解能で合体剤 28 及び改質剤 29 の滴を加えることができるように、プリントヘッド 26、26' を選択することができる。滴の速さ（速度）を、約 8 m / 秒から約 24 m / 秒までの範囲内とすることができる。噴射周波数を約 1 kHz から約 48 kHz までの範囲内とすることができる。1 例では、改質剤 29 の $0.3 \sim 1.0 \text{ mg / cm}^2$ を、作製される物体の 1 層毎に選択された部分に加えることが望ましい。

30

【0092】

それぞれのプリントヘッド 26、26' は、ノズルの配列（アレイ）を有することができる。プリントヘッド 26、26' は、それらのノズルを通じて流体の滴を選択的に噴射することができる。1 例では、それぞれの滴を約 6 ピコリットル（pl） / 滴 ~ 約 10 ピコリットル（pl） / 滴の程度とすることができるが、これより大きいかまたは小さい滴サイズ（たとえば滴径）を使用することも考慮されている。いくつかの例では、プリントヘッド 26、26' は、可変サイズの滴を加えることができる。

40

【0093】

プリントヘッド 26、26' を印刷システム 12' の一体部分とすることができ、または、プリントヘッド 26、26' をユーザーが交換可能なものとすることができる。プリントヘッド 26、26' がユーザーが交換可能なものである場合には、それらのプリントヘッドを、適切な供給器受けもしくはインターフェースモジュール（不図示）に取り外し可能に挿入可能なものとすることができる。

【0094】

印刷システム 12' の別の例では、単一のインクジェットプリントヘッドを用いて、合体剤 28 と改質剤 29 の両方を選択的に加えることができる。たとえば、プリントヘッド

50

の第 1 の組のプリントヘッドノズルを、合体剤 28 を加えるように構成することができ、該プリントヘッドの第 2 の組のプリントヘッドノズルを、改質剤 29 を加えるように構成することができる。

【0095】

図 5 に示されているように、供給器 26、26' の各々は、ページワイドアレイ（ページ幅配列）構成をなすように、支持部材 58 の全幅にわたることを可能にする長さを有している。1 例では、該ページワイドアレイ構成は、複数のプリントヘッドの適切な配列によって実現される。別の例では、該ページワイドアレイ構成は、ノズルの配列が支持部材 58 の幅にわたることができるようにするための長さを有する該ノズルの配列を有する単一のプリントヘッドによって実現される。印刷システム 12' の別の例では、供給器 26、26' は、これらが支持部材 58 の全幅にわたらないようにすることを可能にするより短い長さを有することができる。

10

【0096】

図 5 には示されていないが、供給器 26、26' を、図示の Y 軸に沿った方向に支持部材 58 の全長さ（全長）にわたってこれらの供給器を双方向に移動させることを可能にするための可動式キャリッジ（可動台）に取り付けることができることが理解されるべきである。これは、1 回のパス（通行）で、支持部材 58 の全幅及び全長さにわたって合体剤 28 及び改質剤 29 を選択的に加えることを可能にする。他の例では、供給器 26、26' を固定することができ、一方、支持部材 58 は、供給器 26、26' に対して移動するように構成される。

20

【0097】

本明細書で使用されている「幅」という用語は、図 5 に示している X 軸及び Y 軸に平行な面内の最も短い寸法を一般に意味し、本明細書で使用されている「長さ」という用語は、その面内の最も長い寸法を一般に意味する。しかしながら、他の例では、「幅」という用語は「長さ」という用語と交換可能であることが理解されよう。1 例として、供給器 26、26' は、これらが支持部材 58 の全長さにわたることができるようにする長さを有することができ、一方、可動式キャリッジは、支持部材 58 の幅全体にわたって双方向に移動することができる。

【0098】

供給器 26、26' が、支持部材 58 の全幅にわたることができるようにするだけの長さを有していない例では、供給器 26、26' は、さらに、図示の X 軸方向に支持部材 58 の幅全体にわたって双方向に可動である。この構成は、複数回のパス（通行）を使って、支持部材 58 の全幅及び全長さにわたって合体剤 28 及び改質剤 29 を選択的に加えることを可能にする。

30

【0099】

供給器 26、26' は、それぞれ、合体剤 28 の供給源（サプライ）、改質剤 29 の供給源を備えることができ、または、それらの供給器を、それぞれ、合体剤 28 の別個の（分離している）供給源、改質剤 29 の別個の（分離している）供給源に動作可能に接続することができる。

【0100】

図 5 に示されているように、印刷システム 12' はさらに、易焼結性材料供給器 56 を備えている。この供給器 56 は、易焼結性材料 16 の層（たとえば層 10）を支持部材 58 上に提供するために使用される。適切な易焼結性材料供給器 56 は、たとえば、ワイパーブレードもしくはローラーもしくはこれらの組み合わせを備えることができる。

40

【0101】

易焼結性材料 16 を、ホッパーまたは他の適切な供給システムから易焼結性材料供給器 56 に供給することができる。図示の例では、易焼結性材料供給器 56 は、易焼結性材料 16 の層を堆積（または配置）するために支持部材 58 の長さ方向（Y 軸方向）に移動する。前述したように、易焼結性材料 16 の第 1 の層は支持部材 58 上に堆積（ないし配置）させられるが、易焼結性材料 16 の後続の層は、その前に堆積し（て固化し）た層上に

50

堆積させられる。

【 0 1 0 2 】

支持部材 5 8 を Z 軸に沿って可動とすることができることもさらに理解されよう。1 例では、易焼結性材料 1 6 の新しい層を堆積するときに、直前に形成された層の表面と供給器 2 6、2 6' の下面との間に所定のギャップ（間隙）が維持されるように、支持部材 5 8 は Z 方向に移動させられる。しかしながら、他の例では、支持部材 5 8 を Z 軸に沿って固定して、供給器 2 6 を Z 軸に沿って可動とすることができる。

【 0 1 0 3 】

システム 1 2 と同様に、システム 1 2' は、易焼結性材料 1 6 の（1 以上の）部分 4 4 を固化させるために、易焼結性材料 1 6 の堆積した層、合体剤 2 8 及び改質剤 2 9 にエネルギーを加えるための放射源 3 0 をさらに備えている。前述した放射源 3 0 のうちの任意のものを使用することができる。1 例では、放射源 3 0 は、堆積した材料にエネルギーを均一に加えることができる単一のエネルギー源であり、別の例では、放射源 3 0 は、堆積した材料にエネルギーを均一に加えるための（複数の）エネルギー源の配列を備えている。

10

【 0 1 0 4 】

本明細書に開示されている例では、放射源 3 0 は、堆積した易焼結性材料 1 6 の全表面に実質的に均一にエネルギーを加えるように構成されている。このタイプの放射源 3 0 を、非集束エネルギー源と呼ぶことができる。層全体を同時にエネルギーにさらすことは、3 次元物体を生成する速さを速くするのに役立つ。

20

【 0 1 0 5 】

図示されていないが、放射源 3 0 を可動式キャリッジに取り付けることができ、または、固定された位置に配置することができることが理解されよう。

【 0 1 0 6 】

中央処理装置 4 6 は放射源 3 0 を制御することができる。加えられるエネルギーの量を供給制御データ 5 2 にしたがるものとすることができる。

【 0 1 0 7 】

システム 1 2' はまた、（図 2 B を参照して説明したように）堆積した易焼結性材料 1 6 を予熱するために使用される予熱器 6 0 を備えることができる。予熱器 6 0 の使用は、放射源 3 0 によって加える必要があるエネルギーの量を少なくするのに役立つ。

30

【 0 1 0 8 】

本開示をさらに説明するためにいくつかの例を提示する。それらの例は、説明のために提供されており、本開示の範囲を限定するものと解釈されるべきではないことが理解されるべきである。

【 0 1 0 9 】

例 1

改質剤の 1 例（「例」）といくつかの比較用の改質剤（比較 1 ~ 比較 5）が用意された。（「IF」で示されている）配合物が表 2 に示されている。

【表 2】

表 2

成分	IF7 例	IF 比較 1	IF4 比較 2	IF6 比較 3	IF8 比較 4	IF9 比較 5
重量百分率						
リン酸水素二カリウム・ 三水和物 ($K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$)	0	0	27.5	0	0	0
ヨウ化カリウム (KI)	0	20	0	0	20	20
トリプロピレングリコール	0	0	0	50	20	10
2-ヒドロキシエチル-2-ピロリジン	8	6	6	0	0	0
1,6-ヘキサジオール	0	3	3	0	0	0
2-ピロリジノン(2-P)	0	7	7	0	0	0
テトラエチレングリコール	0	3	3	0	0	0
グリセロール	0	0	0	0	0	10
SURFYNOL® SEF	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
CHEMGUARD® S 550-L-100	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
CRODAFOS® N-3	0	1	1	1	1	1
PROXEL® GXL	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
脱イオン水	残り	残り	残り	残り	残り	残り

【0 1 1 0】

対称部分は光領域処理を用いて形成された。Electro Optical Systems GmbHから入手できるPA2200ポリアミド 1 2 易焼結性材料の $100\ \mu\text{m}$ の層が加えられた。Hewlett Packard Companyから入手できるHP CM991Aインクが、インクジェットプリンターによって、該易焼結性材料上に合体剤として該部分のパターンで加えられた。「例」の改質剤と比較用の改質剤が、該パターンの半分のエッジにおいて該易焼結性材料に加えられた。プリンター設定には、160 の製作ベッド設定値及び20秒の層サイクルタイム（層サイクル時間）が含まれた。40個の材料層が堆積され、パターン化（パターン形成）されて、硬化させられた。

【0 1 1 1】

未焼結の易焼結性材料を除去し、及び改質剤の効果を高めるために、形成された部分をせっけん水中で歯ブラシで洗浄した。

【0 1 1 2】

洗浄後のそれらの部分の写真が図6A～図6Fに示されている。表3は、それらの図を、種々の部分及びそれらのそれぞれの部分の作製中に使用された改質剤に関連付けている。

【表 3】

表 3

部分及び使用された改質剤	図
IF7例を用いて形成された例の部分	6A
IF比較1を用いて形成された比較部分1	6B
IF4比較2を用いて形成された比較部分2	6C
IF6比較3を用いて形成された比較部分3	6D
IF8比較4を用いて形成された比較部分4	6E
IF9比較5を用いて形成された比較部分5	6F

10

【0113】

それぞれの改質剤は、それらの部分の各々の作製中に、下端に沿って正形状の切り欠き内に加えられた。図6A～図6Fを比較すると、(水、所望の熱拡散率を有する所望の範囲内の共溶媒、及び界面活性剤から構成される改質剤の「例」を用いて形成された図6Aの)「例」の部分は、該改質剤が加えられたそれらの部分における易焼結性材料16の量が最少であることが明らかである。塩及び/又は多量の(30wt%より多い)(1以上

20

【0114】

評価の後、それらの部分の各々に対して、より厳しい洗浄(クリーニング)のためのサンドブラスト加工をさらに施した。図6A～図6Fに示されている結果と類似の結果が得られた。

【0115】

例2

約90wt%の水及び約8wt%のグリコールエーテルを含む改質剤が用意された。

30

【0116】

Electro Optical Systems GmbHから入手できるPA2200ポリアミド12易焼結性材料の100 μ mの層が加えられた。Hewlett Packard Companyから入手できるHPCM991Aインクが、インクジェットプリンターによって、該易焼結性材料上に合体剤として該部分のパターンで加えられた。1層当たり0mg/cm²～1.3mg/cm²の範囲内の量の改質剤が、該易焼結性材料のそれぞれののこぎり歯状のエッジに加えられた。プリンター設定には、160の製作ベッド設定値及び20秒の層サイクルタイムが含まれた。40個の材料層が堆積され、パターン化(パターン形成)されて、硬化させられた。

【0117】

改質剤の量の効果を評価するために、該部分が形成された後で、該歯の長さがmm(ミリメートル)単位で測定された。図7は、該歯の長さ対改質剤の量のグラフである。1.3mg/cm²の改質剤は、過度の冷却をもたらして、該パターンの長さを不必要に短くしうることがわかる。これらの結果は、加えるべき改質剤の量を、本明細書に開示されている例を用いて決定することが望ましいことを示している。

40

【0118】

図8A～図8Dは、この例において形成された部分の写真である。図8Aは、エッジに改質剤が加えられていない(すなわち、1層当たりの量が0mg/cm²)ののこぎり歯を示している。図8Bは、エッジのまわりに該歯の端部を2mmだけ超えて延在するように、1層当たり0.33mg/cm²の量の改質剤が加えられたのこぎり歯を示している。図8Cは、改質剤が1層当たり0.66mg/cm²の量でエッジに加えられたのこぎり

50

歯を示している。図 8 D は、改質剤が 1 層当たり 1.3 mg/cm^2 の量でエッジに加えられたのこぎり歯を示している。のこぎり歯の黒い部分は、特徴部（ないし形状）の所望の寸法を表す合体剤でマークされた領域を示している。図 8 A には、図 8 B ~ 図 8 D よりも多くの白い望ましくない焼結された材料がのこぎり歯のエッジに存在している。図 8 B ~ 図 8 D では、合体剤の領域の隣に堆積した改質剤の量が順次増加（ 0.33 mg/cm^2 、 0.66 mg/cm^2 、 1.33 mg/cm^2 ）している。これらの一連の画像において、望ましくない白い焼結された材料の量は、順次少なくなっている。

【 0 1 1 9 】

例 3

例 2 の改質剤がこの例でも使用された。

10

【 0 1 2 0 】

Electro Optical Systems GmbHから入手できるPA2200ポリアミド 1 2 易焼結性材料の $100 \mu\text{m}$ の層が加えられた。Hewlett Packard Companyから入手できるHPCM991Aインクが、インクジェットプリンターによって、該易焼結性材料上に合体剤として該部分のパターンで加えられた。1 層当たり 0 mg/cm^2 、 0.66 mg/cm^2 、及び 1.33 mg/cm^2 の量の改質剤が、該易焼結性材料のそれぞれののこぎり歯状のエッジに加えられた。プリンター設定には、160 の製作ベッド設定値及び 20 秒の層サイクルタイムが含まれた。40 個の材料層が堆積され、パターン化（パターン形成）されて、硬化させられた。2 秒または 4 秒の時間遅延が硬化の前に導入された。

【 0 1 2 1 】

20

改質剤の量及び硬化の際の遅延の効果を評価するために、該部分が形成された後で、該歯の長さが mm（ミリメートル）単位で測定された。これらの結果が表 4 に示されている。

【 表 4 】

表 4

部分	硬化前の遅延(秒)	改質剤 (mg/cm^2)	測定された特性長(mm)
比較例1	2	0	2.40
例 2	2	0.66	2.32
例 3	2	1.33	2.15
比較例4	4	0	2.45
例 5	4	0.66	2.33
例 6	4	1.33	2.28

30

【 0 1 2 2 】

表 4 の結果から、改質剤を使用した場合には、改質剤を使用しない場合とは対照的に、該歯の長さは短くなっている。これは、改質剤が使用されないときには、望ましくない易焼結性材料が該歯のエッジにこびりつくことを示している。さらに、同じ量の改質剤が使用されたときには、硬化の際の遅延が短い場合の方が、硬化の際の遅延が長い場合に比べて歯の長さがわずかに短くなっている（例 2 と例 5、例 3 と例 6 をそれぞれ比較されたい）。

40

【 0 1 2 3 】

本明細書に開示されている改質剤 29 の例は、エッジ境界 27 にまたは該エッジ境界の近くにこびりつく望ましくない易焼結性材料を効果的に低減することができ、及び/または、合体ブリードを低減することができ、及び/または、（1 以上の）部分 42 内のエッジ境界 27 におけるまたは該エッジ境界の近くにおける易焼結性材料 16 の硬化の程度を

50

低減し及び/もしくは該硬化を阻止することができる。

【0124】

本明細書における、「1つの例」、「別の例」（または「他の例」）、「1例」などへの言及は、ある例に関連して説明されている特定の要素（たとえば、特徴部、構造、及び/または特性）が、本明細書に記載されている少なくとも1つの例に含まれること、及び、他の例に存在する場合もあれば存在しない場合もあることを意味している。さらに、文脈から明らかにそうでないことが示されていない場合には、任意の例について説明された要素を、種々の例において任意の適切なやり方で組み合わせることができることが理解されるべきである。

【0125】

本明細書において提供された範囲は、明示されている範囲、及び、該明示されている範囲内の任意の値もしくは部分的な範囲を含むことが理解されるべきである。たとえば、約50 ~ 約350 の範囲は、約50 ~ 約350 ° という明示されている範囲だけでなく、57、95、125、250などの個々の値、及び、約70 ~ 約225、約60 ~ 約170などの部分的な範囲も含むものとして解釈されるべきである。さらに、「約」が値を記述するために使用されているときには、それは、明示されている値からの少しの変化（最大±10%）を含むことが意図されている。

【0126】

本明細書に開示されている例を説明する場合及び該例を特許請求の範囲に記載する場合において、単数形の「ある」、および「該（または当該）」は、文脈から明らかにそうでないことが示されていない場合には、複数のものを含むものとする。

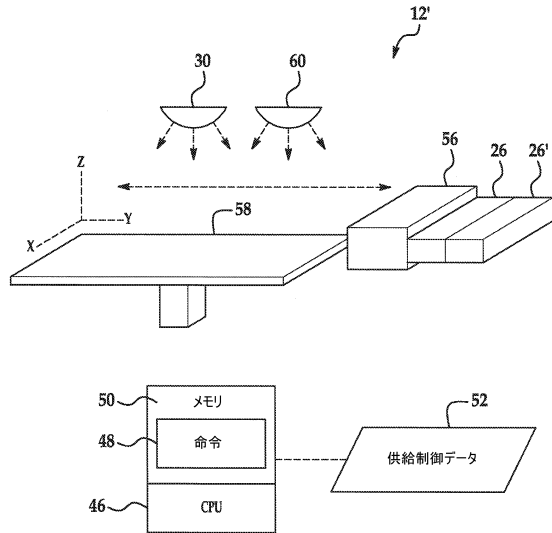
【0127】

いくつかの例を詳細に説明したが、開示されている例を変更できることが当業者には明らかであろう。したがって、上記の説明は非限定的なものであるとみなされるべきである。

10

20

【図 5】



【図 6 A】

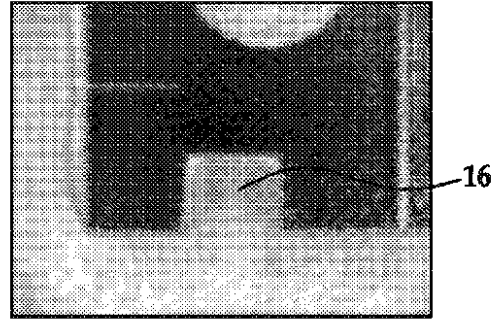


FIG. 6A

【図 6 B】

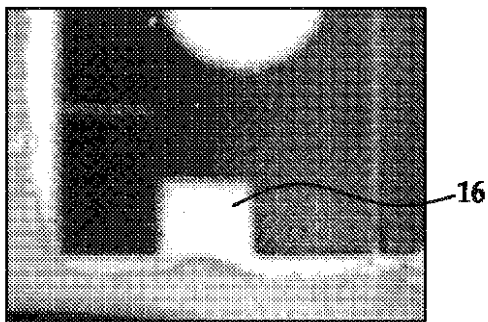


FIG. 6B

【図 6 C】

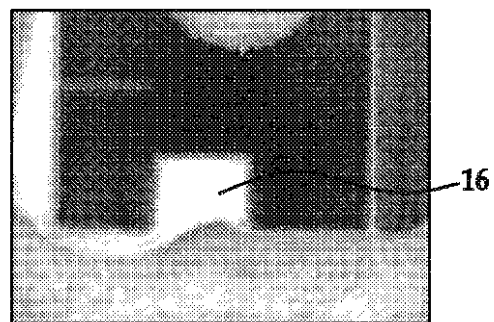


FIG. 6C

【図 6 D】

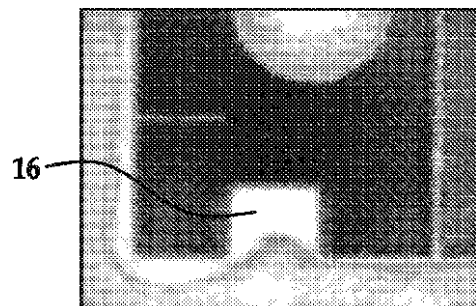


FIG. 6D

【図 6 E】

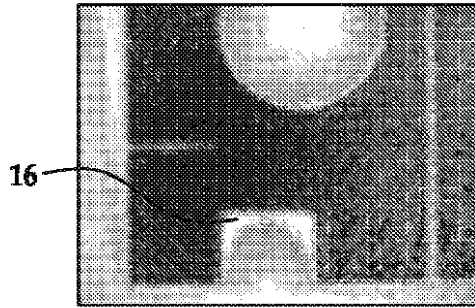


FIG. 6E

【図 6 F】

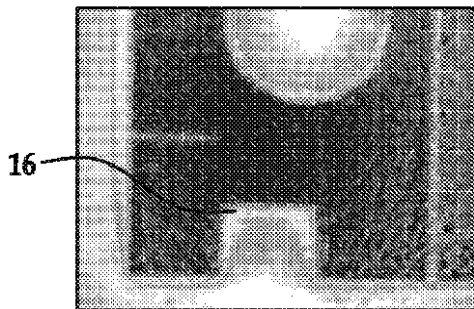
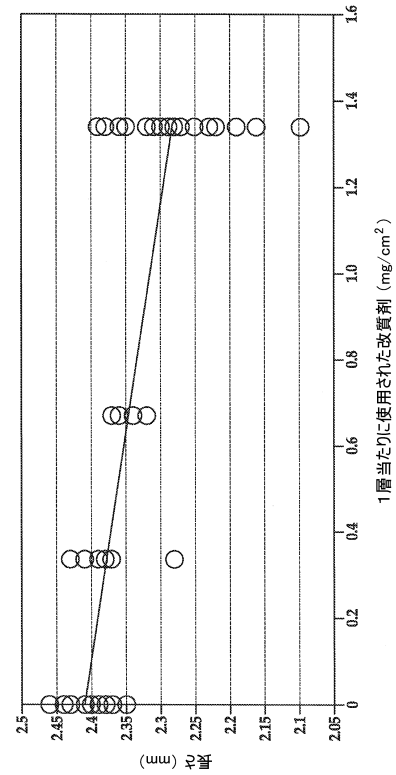


FIG. 6F

【図 7】



【図 8 A】

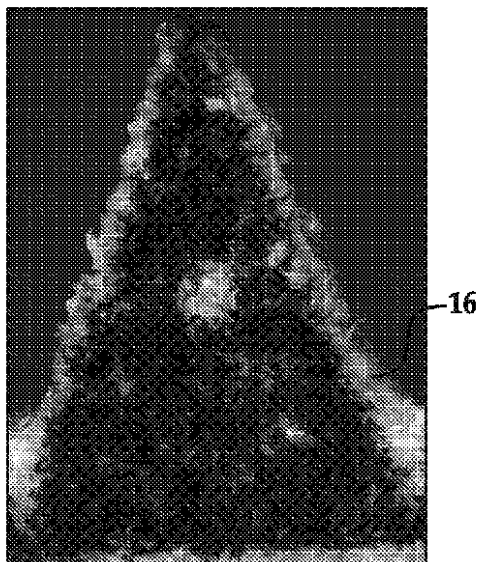


FIG. 8A

【図 8 B】

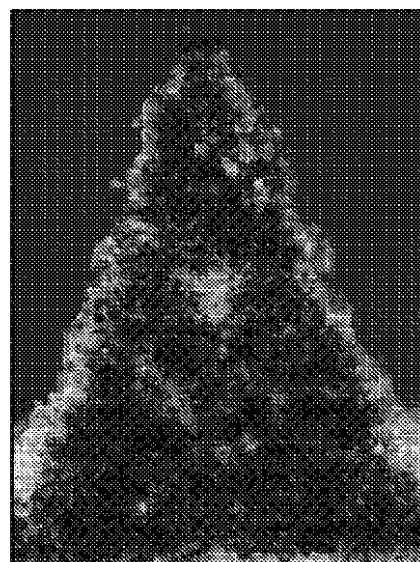


FIG. 8B

【図 8 C】



FIG. 8C

【図 8 D】

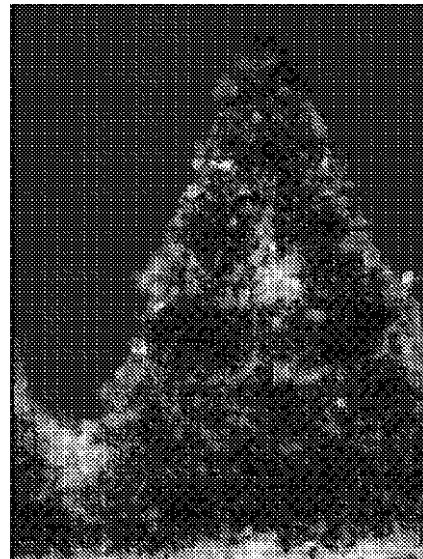


FIG. 8D

フロントページの続き

- (74)代理人 100195693
弁理士 細井 玲
- (72)発明者 ブラサド, ケシャヴァ, エイ
アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 2 1 2 7 - 1 8 9 9, サンディエゴ, ウェスト・バーナード・
ドライブ・1 6 3 9 9
- (72)発明者 ドノヴァン, デイヴィッド, エイチ
アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 2 1 2 7 - 1 8 9 9, サンディエゴ, ウェスト・バーナード・
ドライブ・1 6 3 9 9
- (72)発明者 ナウカ, クリツィスツォフ
アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 4 3 0 4 - 1 1 0 0, パロアルト, ページ・ミル・ロード・1
5 0 1
- (72)発明者 エマムジョマー, アリ
アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 2 1 2 7 - 1 8 9 9, サンディエゴ, ウェスト・バーナード・
ドライブ・1 6 3 9 9
- (72)発明者 タン, フア
アメリカ合衆国オレゴン州 9 7 3 3 0 - 4 2 3 9, コーバリス, ノースイースト・サークル・ブル
バード・1 0 7 0

審査官 関口 貴夫

- (56)参考文献 国際公開第 0 1 / 0 3 8 0 6 1 (WO, A 1)
米国特許第 0 6 4 5 4 8 1 1 (US, B 1)
米国特許出願公開第 2 0 0 4 / 0 0 1 8 1 0 7 (US, A 1)
米国特許出願公開第 2 0 0 6 / 0 2 4 4 1 6 9 (US, A 1)
米国特許出願公開第 2 0 0 5 / 0 0 7 9 0 8 6 (US, A 1)
特表 2 0 0 7 - 5 2 9 3 4 0 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 2 9 C 6 4 / 1 5 3
B 2 9 C 6 4 / 2 6 4
B 3 3 Y 1 0 / 0 0
B 3 3 Y 5 0 / 0 2