

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2022-64974
(P2022-64974A)

(43)公開日 令和4年4月26日(2022.4.26)

(51)国際特許分類	F I
B 2 9 C 64/129 (2017.01)	B 2 9 C 64/129
B 2 9 C 64/386 (2017.01)	B 2 9 C 64/386
B 2 9 C 64/35 (2017.01)	B 2 9 C 64/35
B 2 9 C 64/241 (2017.01)	B 2 9 C 64/241

審査請求 有 請求項の数 12 O L (全18頁)

(21)出願番号	特願2022-13962(P2022-13962)	(71)出願人	520222092
(22)出願日	令和4年2月1日(2022.2.1)		ローレンス・リバモア・ナショナル・セ
(62)分割の表示	特願2019-562425(P2019-562425)		キュリティイー・エルエルシー
)の分割		アメリカ合衆国、9 4 5 5 1 カリフォル
原出願日	平成30年3月27日(2018.3.27)		ニア州、リバモア、ピィ・オウ・ボッ
(31)優先権主張番号	15/593,947		クス・8 0 8、エル-7 0 3
(32)優先日	平成29年5月12日(2017.5.12)	(71)出願人	507127440
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		ザ・リーゼンツ・オブ・ザ・ユニバー
			シティー・オブ・カリフォルニア
			アメリカ合衆国、カリフォルニア・9 4
			6 0 7 - 5 2 0 0、オークランド、フラ
			ンクリン・ストリート・1 1 1 1、トゥ
			ェルプス・フロアー
		(74)代理人	110001173
			特許業務法人川口国際特許事務所
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 3D付加製造のためのコンピュータアキシャルリソグラフィ(CAL)のためのシステムおよび方法

(57)【要約】 (修正有)

【課題】3次元(3D)物体を形成する方法を提供する。

【解決手段】3D物体を形成する方法において、光学的に透明な樹脂コンテナ内に收容される光硬化性樹脂の体積を提供することと、光硬化性樹脂の体積を通して複数の角度で光学サブシステムからの光学投影を同時に方向付けることを伴うことがある。光学ビームは、光硬化性樹脂の体積を通して延びるz軸まわりに方向付けられる。投影の個々は、3D強度マップを作り出す計算された2D空間強度関数を提供される。投影は、固定された時間的な曝露期間にわたって作用し、その間において、正味の曝露線量が、光硬化性樹脂の体積の選択部分を硬化させると共に他の部分を未硬化のままにして、所望の3D部品を形成するのに十分である。

【選択図】図1A

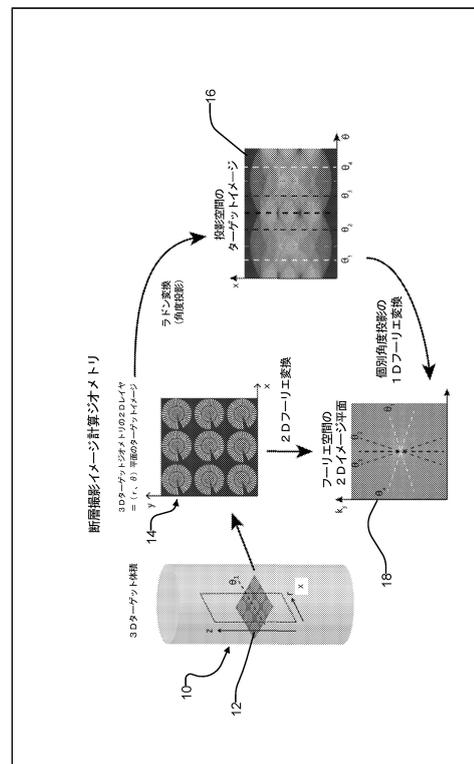


FIGURE 1A

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

3次元(3D)物体を形成する方法であって、
 光学的に透明な樹脂コンテナ内に収容される光応答性樹脂の体積を提供することと、
 光応答性樹脂の体積を通して複数の角度で光学サブシステムからの光学投影を同時に方向付けることであって、光学投影が光応答性樹脂の体積を通して延びるz軸まわりに更に方向付けられる、方向付けることと、
 光応答性樹脂の体積の選択された部分の硬化または除去の少なくとも一方を行って、他の部分を未変更のままにするのに十分である固定された時間的な曝露期間にわたって作用する計算された3次元強度分布を光学投影の個々に提供して、所望の3D部品を形成すること
 を含む、方法。 10

【請求項 2】

複数の角度で光学サブシステムからの光学投影を同時に方向付ける動作が、3D強度関数を空間内に生成する光学投影の同時の重ね合わせを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

複数の角度で光学サブシステムから送達される光学投影の計算設計が、
 z軸を通して延びる複数のz平面の各1つについて、各角度での特定のz平面に対する1次元(1D)強度パターンを生成することと、
 各z平面について特定の角度に対する1D強度パターンを、その角度からの2次元(2D)イメージ投影に組み立てて、これを各角度について行うこととを含む、請求項1に記載の方法。 20

【請求項 4】

複数の角度で光学サブシステムから送達される光学投影の計算設計が、
 フィルタ補正逆投影法(FBP)技術または反復最適化ベース技術の少なくとも一方を含むフリードメインメソッドを使用することを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 5】

固定された時間的な曝露期間の後に、樹脂コンテナをリンスして、光硬化された3D部品の領域から未硬化樹脂を除去することを更に含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 6】

複数の角度で光学サブシステムからの光学投影を同時に方向付ける動作が、複数の有機発光ダイオード(OLED)およびターゲット樹脂体積の周囲まわりに配設されたマイクロレンズアレイからの光学投影を生成することを含み、特定の角度からの各投影が、特定のサブセットのOLEDから生成される、請求項1に記載の方法。 30

【請求項 7】

制御装置を使用して、OLEDアレイを制御することを更に含む、請求項6に記載の方法。

【請求項 8】

3次元(3D)物体を形成する方法であって、
 光学的に透明な樹脂コンテナ内に収容される光硬化性樹脂の体積と、光硬化性樹脂の体積を通して延びるz軸と、z軸に垂直に延びるx'軸とを提供することと、
 z軸まわりに光学的に透明な樹脂コンテナを回転させ、同時に、樹脂体積が回転するにつれて樹脂体積座標系(x、y、z)に対して異なった角度に沿って樹脂コンテナで連順次的な様式で静止光学サブシステムから固定されたx'方向に光学投影を方向付けることとを含み、
 光学投影の2次元(2D)投影関数が、制御された3D曝露線量を送達するために、各角度で制御され、
 他方、樹脂体積に合計3D曝露線量を作り出す複数の角度からの投影を含む、固定された時間的な曝露期間にわたって、合計3D曝露線量が、光硬化を所望の領域に生じさせるのに十分であり不所望の領域には生じさせない、方法。 40

【請求項 9】

50

光学的に透明な樹脂コンテナを、樹脂の屈折率に適合する屈折率を有する流体で満たされている第2のコンテナ内に、配置することを更に含む、請求項8に記載の方法。

【請求項10】

光学的に透明なコンテナを回転させることが、光学的に透明なコンテナを回転ステージに固定することと、回転状態を使用して、光学的に透明なコンテナを回転させることを含む、請求項8に記載の方法。

【請求項11】

光学的に透明なコンテナの回転が、制御装置によって光学投影と同期される、請求項8に記載の方法。

【請求項12】

静止光学サブシステムから光学投影を方向付けることが、静止デジタル光処理(DLP)プロジェクタから光学投影を方向付けることを含む、請求項8に記載の方法。

【請求項13】

静止光学サブシステムから光学投影を方向付けることが、衝突光源の振幅または位相あるいは双方を制御する空間光変調器(SLM)を用いて光学投影を生成することを含む、請求項8に記載の方法。

【請求項14】

固定された時間的な曝露期間の後に、樹脂コンテナをリンスして、光硬化された3D部品の領域から未硬化樹脂を除去することを更に含む、請求項8に記載の方法。

【請求項15】

複数の角度で光学サブシステムから送達される光学投影の計算設計が、 z 軸を通して延びる複数の z 平面の各1つについて、各角度での特定の z 平面に対する1次元(1D)強度パターンを生成することと、各 z 平面について特定の角度に対する1D強度パターンを、その角度からの2次元(2D)イメージ投影に組み立てて、各角度について生成する動作および組み立てる動作を行うこととを含む、請求項8に記載の方法。

【請求項16】

複数の角度で光学サブシステムから送達される光学投影の計算設計が、フィルタ補正逆投影法(FBP)技術または反復最適化ベース技術あるいは双方を含むフーリエドメインメソッドを使用することを含む、請求項8に記載の方法。

【請求項17】

3次元(3D)物体を形成する方法であって、光学的に透明な樹脂コンテナ内に収容される光硬化性樹脂の体積と、光硬化性樹脂の体積を通して延びる z 軸と、 z 軸に垂直に延びる x' 軸とを提供することと、光学サブシステムを使用して、光学2次元(2D)投影を生成することと、光硬化性樹脂の体積を通して方向付けられた光学2D投影を維持しながら、2D投影または樹脂コンテナの少なくとも一方を他方に対して回転させて、光硬化性樹脂の体積の完全な周囲のまわりに光学2D投影を受けることを含む、2D投影の2次元(2D)投影関数が、各角度で制御されて、固定された時間的な曝露期間にわたって制御された3D曝露線量を送達し、複数の2D投影が、複数の角度から生成され、複数の2D投影が合計されて、不所望の領域に光硬化を生じさせるのに不十分でありながら所望の領域に光硬化を生じさせるのに十分である3D曝露線量を樹脂体積に作り出す、方法。

【請求項18】

2D投影または樹脂コンテナの少なくとも一方を他方に対して移動させることが、樹脂コンテナおよび光学サブシステムの双方が静止状態に保持されている間、光学2D投影を光硬化性樹脂の体積の方に方向付けるように構成された複数のミラーを有する回転アーム組立体を使用することを含む、請求項17に記載の方法。

【請求項19】

10

20

30

40

50

2 D 投影または樹脂コンテナの少なくとも一方を他方に対して移動させることが、樹脂コンテナも回転している間、光学 2 D 投影を光硬化性樹脂の体積の方に方向付けるように構成された複数のミラーを有する回転アーム組立体を使用することを含み、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 20】

回転アーム組立体を使用することが、静止ミラーから光学 2 D 投影を受ける回転アーム組立体を使用することを含み、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 21】

光学サブシステムから 2 D 投影を方向付けることが、静止デジタル光処理 (DLP) プロジェクタから光学 2 D 投影を方向付けることを含み、請求項 17 に記載の方法。

10

【請求項 22】

光学サブシステムから光学 2 D 投影を方向付けることが、衝突光源の振幅または位相あるいは双方を制御する空間光変調器 (SLM) を使用して静止光学サブシステムから光学 2 D 投影を方向付けることを含み、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 23】

樹脂コンテナを第 2 のコンテナ内に配置することを更に含み、第 2 のコンテナが、樹脂に適合された屈折率を有する流体を収容する、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 24】

2 D 投影または樹脂コンテナの少なくとも一方を他方に対して移動させることが、樹脂コンテナが静止状態に保持されている間、樹脂コンテナのまわりを周方向に光学サブシステムを回転させて、光学 2 D 投影を複数の角度から光硬化性樹脂の体積の方に方向付けることを含み、請求項 17 に記載の方法。

20

【請求項 25】

複数の角度 で光学サブシステムから送達される光学 2 D 投影の計算設計が、z 軸を通して延びる複数の z 平面の各 1 つについて、各角度 での特定の z 平面に対する 1 次元 (1D) 強度パターンを生成することと、各 z 平面について特定の角度 に対する 1 D 強度パターンを、特定の角度 からの 2 次元 (2D) イメージ投影に組み立てること、ならびに、各角度 について生成する動作および組み立てる動作を繰り返すことを含み、請求項 17 に記載の方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本出願は、2017年5月12日に提出された米国特許出願第15/593,947号のPCT国際出願である。上記出願の開示全体は、引用により本明細書に組み込まれる。

【0002】

政府の権利の陳述

米国政府は、ローレンスリバモア国立研究所の運営のために、米国エネルギー省とローレンスリバモアナショナルセキュリティLLCとの間の契約番号DE-AC52-07NA27344に従って、本発明において権利を有する。

40

【0003】

分野

本開示は、付加製造を実行するためのシステムおよび方法に関し、より詳細には、コンピュータ断層撮影 (CT) 技術を使用する体積製造 (volumetric fabrication) に向けられたシステムおよび方法に関する。

【背景技術】

【0004】

この段落は、必ずしも先行技術ではない本開示に係る背景情報を提供する。

【0005】

付加製造 (AM) の製造方法は、急速に拡大しており、フォトポリマベースのアプローチ

50

は、最も顕著な方法の幾つかを含む。これらのステレオリソグラフィ技術は、解像度、ビルド速度、処理制御、および資本コストの有用なバランスを提供する。しかしながら、これらのシステムメトリックは、典型的には、互いにトレードオフされなければならない。速度制限、表面粗さ（階段状アーチファクト）、および、サポート構造のための要件を解決することは、これらの将来の技術の進歩における次の主要なステップを提供するのである。

【0006】

付加製造（AM）技術が重要性かつ多用性を獲得するにつれて、ほとんど全てのAMアプローチに対する1つの制約が、低次元ユニット動作をシリアルに繰り返すこと、構造をボクセルバイボクセルまたはレイヤバイレイヤで構築することに依存する。これは、利点になり得、著しい処理の柔軟性をもたらす場合があるが、多くの場合、欠点であって、表面仕上げの不足および寸法の制限を課す。例えば、滑らかに湾曲するジオメトリを作り出すことは不可能である。幾つかのアプローチは、平面スライシングを必要とせずに3D構造を生成する能力を実証したが、特に、ヒューズリサーチラボラトリーズの格子状光線（lattice light-beam）による格子の製造（T. A. Schaedlerらの「Ultralight Metallic Microlattices」、Science、334巻、6058号、962-965頁、2011年11月を参照のこと）、および、干渉リソグラフィによって作り出されたフォトニック結晶（Y. Lin、A. Harb、K. Lozano、D. Xu、および、K. P. Chen、「Five beam holographic lithography for simultaneous fabrication of three dimensional photonic crystal templates and line defects using phase tunable diffractive optical element」、Opt. Express、17巻、19号、16625頁、2009年9月を参照のこと）である。しかしながら、これらのアプローチは、周期構造に限定されており、寸法の1つが他の2つよりも実質上小さくなっている。Carbon 3Dの「連続的な」液体界面処理（J. R. Tumblestonらの「Continuous liquid interface production of 3D objects」、Science、347巻、6228号、1349-1352頁、2015年3月を参照のこと）でさえ、2D離散化に基づく順次的な製造を依然として必要とする。

【0007】

AM技術ベースを拡張して、任意のジオメトリを有する3D形状を生成する3Dユニット動作による製造（「ポリウムアトワンス」）を含めることは、非常に望ましい。そういったアプローチは、それらの初期にある。最初の「ポリウムアトワンス」フォトポリマベースの製造は、The 26th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposiumの予稿集、テキサス州オースティン2016年1183-1192頁のM. Shusteffらの「Additive Fabrication of 3D Structures by Holographic Lithography」で述べられたように、最近実証された。このアプローチは、位相限定（phase-only）液晶オンシリコン（LCoS）空間光変調器（SLM）によって生成されたホログラフィック形状の光線場を使用した。Shusteffらのアプローチによって達成可能なジオメトリは、3つの直交方向の個々に沿って一定の断面を有するのが原因で制限される。この制限は、それらの比較的大きいピクセルサイズ（最小で約4 μ m、より一般的には、8 μ mまたはそれより大きい）のせいで、先端技術のSLMから利用可能な小さい回折角に大きく生じる。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】T. A. Schaedlerらの「Ultralight Metal

10

20

30

40

50

lic Microlattices」、Science、334巻、6058号、962-965頁、2011年11月

【非特許文献2】Y. Lin、A. Harb、K. Lozano、D. Xu、および、K. P. Chen、「Five beam holographic lithography for simultaneous fabrication of three dimensional photonic crystal templates and line defects using phase tunable diffractive optical element」、Opt. Express、17巻、19号、16625頁、2009年9月

【非特許文献3】J. R. Tumblestonらの「Continuous liquid interface production of 3D objects」、Science、347巻、6228号、1349-1352頁、2015年3月 10

【非特許文献4】The 26th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposiumの予稿集、テキサス州オースティン2016年1183-1192頁のM. Shusteffらの「Additive Fabrication of 3D Structures by Holographic Lithography」

【非特許文献5】S. W. Smithの「The Scientist & Engineer's Guide to Digital Signal Processing」第1版、カリフォルニア州サンディエゴ: California Technical Pub、1997年 20

【非特許文献6】T. Bortfeld、J. Burkelbach、R. Boesecke、および、W. Schlegel、「Methods of image reconstruction from projections applied to conformal radiotherapy」Phys. Med. Biol、35巻10号、1423-1434頁、1990年10月

【非特許文献7】R. Bracewell「Strip Integration in Radio Astronomy」、Aust. J. Phys. 9巻、2号、198頁、1956年

【非特許文献8】R. N. Bracewell、「Numerical Transforms」、Science、248巻、4956号、697-704頁、1990年5月 30

【非特許文献9】D. Dendukuri、P. Panda、R. Haghgooye、J. M. Kim、T. A. Hatton、および、P. S. Doyle、「Modeling of Oxygen-Inhibited Free Radical Photopolymerization in a PDMS Microfluidic Device」、Macromolecules、41巻、22号、8547-8556頁、2008年11月

【非特許文献10】「Digital Light Field Photography」(博士論文、スタンフォード大学) Lanman, D. および Luebke, D.、2013年「Near-eye light field displays」(ACM Transactions on Graphics (TOG))、32巻、6号、220頁 40

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0009】

この段落は、本開示の一般概要を提供しており、その全範囲またはその特徴の全てについての包括的な開示ではない。

【0010】

本開示の1つの態様は、3次元(3D)物体を形成する方法に関する。方法は、光学的に透明な樹脂コンテナ内に収容される光硬化性樹脂の体積を提供することと、光硬化性樹脂 50

の体積を通して複数の角度で光学サブシステムからの光学投影を同時に方向付けることとを含むことがある。光学投影は、光硬化性樹脂の体積を通して延びるz軸まわりに更に方向付けられることがある。光学投影の個々は、固定された時間的な曝露期間にわたって作用する計算された3次元強度分布を提供されることがある。1つまたは複数の角度からの投影がその間において提供される固定された時間期間にわたって、正味の曝露線量は、所望の3D部品を形成するために、光硬化性樹脂の体積の選択された部分を硬化させると共に他の部分を未硬化のままにするのに十分である。

【0011】

別の態様では、本開示は、光学的に透明な樹脂コンテナ内に収容される光硬化性樹脂の体積を提供することによって3次元(3D)物体を形成する方法に関する。z軸は、光硬化性樹脂の体積を通して延び、r軸は、z軸に垂直に延びる。光学的に透明な樹脂コンテナは、z軸まわりに回転され、同時に、光学投影は、z軸に対して異なった角度に沿って樹脂コンテナで順次的な様式で静止光学サブシステムからx'方向に方向付けられることがある。光学投影の2次元(2D)投影関数は、各角度で制御されることがある。この投影関数は、制御された3D曝露線量を送達することがある。複数の角度からの投影を含む、固定された時間的な曝露期間にわたって、正味の合計3D曝露線量は、樹脂体積に生成されることがある。合計3D曝露線量は、光硬化を所望の領域に生じさせ、不所望の領域には生じさせない、のに十分であることがある。

10

【0012】

更に別の態様では、本開示は、3次元(3D)物体を形成する方法に関する。方法は、光学的に透明な樹脂コンテナ内に収容される光硬化性樹脂の体積と、光硬化性樹脂の体積を通して延びるz軸と、z軸に垂直に延びるx'軸とを提供することを含むことがある。方法は、3D強度マップを生成する光学2次元(2D)投影関数を生成する光学サブシステムを使用することを更に含むことがある。方法は、光硬化性樹脂の体積を通して方向付けられた光学2D投影を維持しながら、光硬化性樹脂の体積の完全な周囲のまわりに光学2D投影を受けるために、2D投影または樹脂コンテナの少なくとも一方を他方に対して回転させることを更に含むことがある。2D投影の2次元(2D)投影関数は、固定された時間的な曝露期間にわたって制御された3D曝露線量を送達するために、各角度で制御されることがあり、複数の2D投影は、複数の角度から生成される。不所望の領域に光硬化を生じさせるのに不十分でありながら所望の領域に光硬化を生じさせるのに十分である3D曝露線量を樹脂体積に作り出すために複数の2D投影は合計されることがある。

20

30

【0013】

適用可能性の更なる範囲は、本明細書で提供される説明から明らかになるであろう。この概要の説明および特定の例は、例証だけの目的を意図されており、本開示の範囲を限定することを意図していない。

【0014】

本明細書で説明される図面は、全ての可能な実装ではなく、選択された実施形態の例証目的のためのためであり、本開示の範囲を限定することを意図していない。

【図面の簡単な説明】

【0015】

40

【図1A】光学投影を計算に設計するために使用される基礎にある数学的な関係の概要を提供する複数の図である。これらの光学投影は、ターゲット強度分布を作成するために本開示の様々な実施形態によって物理的に生成される場合がある。

【図1B】様々な実施形態の説明を助けるために本開示で使用される座標系を例証する図である。

【図1C】様々な実施形態の説明を助けるために本開示で使用される座標系を例証する図である。

【図1D】様々な実施形態の説明を助けるために本開示で使用される座標系を例証する図である。

【図2A】各角度で投影を同時に生成するためにターゲット樹脂体積のまわりに周方向

50

に配置された光源およびレンズや他の光学系のシステムを利用する本開示に従ったシステムの1つの実施形態を示す図である。全ての投影から発出される3D強度マップの同時重ね合わせは、1つの動作ステップで樹脂の選択された部分を硬化するために使用される。

【図2B】様々な光学投影が異なる角度で樹脂のターゲット体積を通過する図2Aの実施形態の3D表示を示す図である。

【図3】ターゲット樹脂体積コンテナが回転マウントまたはステージによって回転され、他方、光学投影生成構成要素が固定された時間で単一の投影を提供する本開示の別の実施形態の高水準図である。この投影は、体積に3D強度場を作成する。樹脂体積が時間と共に回転して角度が変化すると、投影が更新される。

【図4】ターゲット樹脂体積コンテナが静止状態に維持され、回転アーム組立体が変わる角度から光学投影を方向付ける本開示の別の実施形態の高水準図である。 10

【発明を実施するための形態】

【0016】

対応する参照番号は、図面の幾つかの図を通して対応する部分を示す。

【0017】

実施形態例は、今から添付の図面を参照して更に十分に説明されるであろう。

【0018】

本発明の開示で説明されるアプローチは、コンピュータ断層撮影(CT)技術を逆に適用することによって、即ち、フォトリマ樹脂体積を3D光線場で複数の角度から曝露すること、および光線場を各角度で更新することにより構造体を製造することによって、体積製造を達成する。必要な光線場は、空間的および/または時間的に多重化され、それにより、ターゲット樹脂体積内のそれらのエネルギー線量合計が、ユーザにより定義されたジオメトリに樹脂をクロスリンクさせる。これらの光線場は、静的または動的であることがあり、また、任意の適切な機構、例えば、空間光変調器(SLM)によって生成されることがある。SLMは、必要な強度分布を提供するために、光線場の位相または振幅、あるいは、おそらく双方を制御する。各角度での光線場は、時間的に同時または順次に生成されることがある。順次的なケースでは、それらは、任意の順序で生成されることがある。本開示は、この範囲の処理可能性を大幅に前進させ、所与の体積内での3D放射線量分布を生成するための手段を提供し、フォトリマ硬化における殆ど任意の構造体を可能にする。 20 30

【0019】

本開示は、感光性樹脂浴体積に関する3次元(3D)光学光線場の空間的および/または時間的な多重化に基づく。多重化は、以下の段落の特定の実施形態および方法において説明される方法を含むいくつかの方法で達成することができるが、それらに限定されない。多重化は、樹脂の選択領域に制御された曝露線量を送達することによって、3Dのユーザにより設計されたジオメトリをイン・サイチュでフォトリマビルド体積に硬化させることに関して実現されることがある。

【0020】

概念的に、本開示の教示は、十分に発達したコンピュータ断層撮影(CT)の分野に基づく。CTは、一般に、複数の角度からの3D体積のイメージングを指し、殆どの場合、体積を透過したX線によるものであり、各イメージは、方位角的にアレイ化された方向からの照明によって順次に生成される。3D体積は、次に、様々な知られている計算技術によって再構築される。そういった知られている計算技術は、フィルタ補正逆投影法(FBP)技術や反復最適化ベース技術などのフーリエドメインメソッドを含むことがある。例えば、S.W.Smithの「The Scientist & Engineer's Guide to Digital Signal Processing」第1版、カリフォルニア州サンディエゴ: California Technical Pub, 1997年、を参照のこと。3D幾何学的情報のキャプチャおよび記録に役立つCTアプローチを用いて、コンピュータアキシャルリソグラフィ(CAL)は、概念を逆にして、複数の角度からのフォトリマの曝露から3Dジオメトリを生成する。本明細書で説明され 40 50

る実施形態は、「ボリュームアットワンス」機能を保持し、同時に、従来の離散化「階段状」アーチファクトを排除する3ビームホログラフィックリソグラフィアプローチ(上記 Shusteffら)の幾何学的柔軟性を大幅に改善する。

【0021】

癌治療の目的のために、CT最適化は使用されて、強度変調放射線治療(IMRT)を送達し、患者の生理機構内の特定領域に放射線量のターゲット3D分布を送達し、同時に、非ターゲット領域の線量を最小化した。例えば、T. Bortfeld、J. Burkelbach、R. Boesecke、および、W. Schlegel、「Methods of image reconstruction from projections applied to conformation radiotherapy」Phys. Med. Biol.、35巻10号、1423-1434頁、1990年10月を参照のこと。3Dリソグラフィ製造の制約は、概して厳しくなく、同様に規定された放射線の3D線量分布が、感光性樹脂をクロスリンクさせるために使用される場合があることを示唆している。

10

【0022】

断層撮影イメージ計算

ターゲットの3D部分ジオメトリと、計算された投影との間の関係を理解するために、図1Aならびに図1B-1Dの座標系指定を考慮する。以下の議論に関して、グローバルデカルト座標系(x 、 y 、 z)を採用して、3Dビルド体積と、考慮される投影の角度に
向きが依存する回転されたデカルト座標系(x' 、 y' 、 z')とを参照することが便利で
ある。これらの座標系では、 z は、体積10のまわりの角度での曝露の方位角的アレイ
化のための軸である。各角度に関して、投影が計算される。特定の角度で、ターゲッ
ト体積内で生成される3次元強度マップ $I(x, y, z)$ を完全に決定する2次元関数
 $P(y', z)$ として、投影を定義する(P は角度に依存するが、2つの空間的次元
を有するので、2次元関数と呼ばれることに留意すべきである)。最も単純なケースで
は、投影は、樹脂体積を x' 方向に伝播する(y' 、 z)ドメインの2次元イメージと考え
られ得る場合がある。この理想的なケースでは、投影によって生成された3D強度プロフ
ァイルは、 x' 方向にターゲット体積を通して押し出された(y' 、 z)ドメインイメージ
のように見える。この近似は、照明投影がコリメートされる場合、物理的に良好に有効で
ある。医療イメージング用途では、これは、平行ビーム断層撮影に類似する。本開示に関
して、これは、光学的構成が長い焦点深度(特に、現在のSLM技術で利用可能な小さな
回折角に関連する)を有するときはいつでも、十分に良好な近似である。一般的なケー
スでは、光の伝搬および減衰モデルは、特定の角度で2D投影関数から生成される3D強度
マップを表す。この説明と図1Aでは、本方法の説明を簡単にするために理想的なケー
スを考慮する。

20

30

【0023】

断層撮影イメージ計算の目的は、各投影から生成された3D光線場の重ね合わせから生成された3D強度マップが、ターゲット3D強度マップを詳しくまたは正確に近似するように、ある範囲の角度から2D投影イメージのセット $P(y', z)$ を設計することである。我々は今から、知られているターゲット3D強度マップから、投影の設計を考慮する。説明をより簡略化するために、3D強度マップのための2D投影のセットを生成する問題を、2D強度マップ $I(x, y)$ の1D投影のセット $P(y')$ を生成する問題に、縮小する。繰り返すと、このケースでは、1Dは、1つの空間次元 y' を指す。物理的な(x 、 y 、 z)樹脂体積システムでは、2D強度マップは、真の3D強度マップの水平方向一定の z スライスと考えることができる。最終的に、所与の角度での2D投影 $P(y', z)$ は、次にその特定の角度に対して各 z 平面で計算された1D投影の個々を積み重ねることによって生成される場合がある。

40

【0024】

CTイメージ再構築を達成する多くのやり方のうち、製造のための線量最適化に容易に役立つ2つの主要なアプローチは、フィルタ補正逆投影(FBP)および反復最適化ベース

50

のアルゴリズムである。ここでは、先ず、FBPアプローチおよびその制限を考慮して、最適化アルゴリズムの有用な開始パラメータを提供するために、どのようにそれが使用され得るかを説明する。

【0025】

z の所与の値について(x 、 y)平面内の2D光学密度分布を再構築するためのFBPアプローチは、 M 個の角度サンプル($= 1, 2, \dots, M$)の個々での数学的1D投影を計算することから始まる。これらの一緒に取られた投影は、2Dイメージのラドン変換から成る。投影スライスの定理から、その両者がここに引用により本開示に組み込まれる、R. Bracewell「Strip Integration in Radio Astronomy」、Aust. J. Phys. 9巻、2号、198頁、1956年、および、R. N. Bracewell、「Numerical Transforms」、Science, 248巻、4956号、697-704頁、1990年5月、で議論されているように、特定の角度での各1D投影のフーリエ変換が、元の2D密度分布のフーリエ変換の1Dサンプルに正確に等しいことが知られている。この1Dサンプルは、フーリエドメインの原点を通る線に沿って在り、また、角度で傾斜する。これは、図1Aに示される。フーリエドメインでの十分に密なサンプリングが、正確なCTイメージの再構築に必要とされる。フーリエドメインでサンプル数 M を適切に選択するために、1つの可能な保守的なヒューリスティックは、スライス間の最大距離が径方向の N 個のサンプルポイントの分離より大きくないことを確実にすることである。これは、180度の角度範囲内で $N/2$ の角度サンプルをもたらす。

10

20

【0026】

各2D z 平面のリソグラフィ製造は、CTイメージング処理の、アルゴリズムによる時間反転に従うことができる。スライス $I_z(x, y)$ のターゲット2D強度マップは、フーリエドメインに変換され、次に、 M 個の方位角の個々に沿ってサンプリングされ、 M 個の1D強度分布、または、各角度 $1, 2, \dots, M$ に1つの投影 $P(y')$ を生成する。これらの分布の個々は、その特定の角度からそのそれぞれのパターンでターゲット平面を曝露するために使用され、それは、スライスから原点を通してフーリエドメインにサンプルを構築することに対応する。CT再構築に対するFBPは、中央スライシングアプローチに固有の低周波数オーバーサンプリングを重要でなくする目的で、逆投影の前のハイパス空間フィルタリングに依存する。これを説明するための同等のやり方は、径方向に増加するランプフィルタとしてであろう。このフィルタは、通常、逆投影イメージに負の偏位をもたらし、それらはリソグラフィにとって物理的でない。負の値を除去してリソグラフィに適したイメージを作り出す幾つかのヒューリスティックなアプローチは、課せられた正值性制約または計算されたイメージをオフセットすることを含む。そういったヒューリスティックの結果は、計算された線量分布のコントラストおよび解像度間にトレードオフを課す；しかしながら、それらは、制約付き最適化手順の初期線量推定値として使用される場合がある。

30

【0027】

簡潔には、最適化手順は、その開始点として、樹脂モノマクロスリンクを受けた光エネルギー線量に関係付ける順方向処理モデルを取る。そういったモデルの様々な2Dバージョンは、D. Dendukuri、P. Panda、R. Haghgoorie、J. M. Kim、T. A. Hatton、および、P. S. Doyle、「Modeling of Oxygen-Inhibited Free Radical Photopolymerization in a PDMS Microfluidic Device」、Macromolecules, 41巻、22号、8547-8556頁、2008年11月、で議論されているなどがあり、その教示が引用により本明細書に組み込まれ、利用することができ、3D類似物への進展は限定的である。モデル化された硬化(全ての角度からの合計線量分布によって引き起こされる)の度合いを所望の部品ジオメトリと比較して、誤差関数が生成され、それが逆変換されて初期線量推定値を修正するために使用される。このサイクルは、ビルド体積全体のエッジシャープネス、コントラスト、または合

40

50

計エラーなどの特定のエラー基準を満たすのに十分な数のサイクルで繰り返される。最適化手順は、強度の吸収などの処理の非線形性を正確にモデル化してイメージ生成で考慮するための手段を提供する。これは、特徴の品質の観点から著しく有利である。2D平面から3Dへの拡張は、簡単であり、各z平面からの1D強度パターンは、特定のx'伝搬方向に対応する全ての角度での投影のために2Dy'-zイメージに組み立てられる。實際上、これは、各角度での全てのz平面の計算されたラドン変換の物理的な投影であり、所望の3D線量体積を再構築する。

【0028】

上で説明された方法を実行する1つの特定の形態は、図2Aに示されるシステム24である。システム24は、特定の選択された角度 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_M$ での光学投影P(y', z)のセットが、光学的に透明なコンテナ29a内に収容された樹脂29のターゲット体積のまわりに生成されるように配置された、複数の光学サブシステム26を含むことがある。光学サブシステム26の1つの可能な設計は、樹脂29の3Dターゲット体積を囲むマイクロレンズ28によってカバーされたOLEDアレイ27を含むことがある。OLEDアレイ27は、制御装置26aによって部分的に制御されることがある。光学サブシステム26の異なったグループは、図2Bに示されるように、ターゲット樹脂体積29を通して投影する、それぞれ異なった角度 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 等々での、投影P(y', z)および対応する3D強度マップI(x, y, z)_{261, 262, 263}等々を同時に生成する。投影P(y', z)および強度マップI(x, y, z)は、段落[0015]で説明されたものと類似する。図2Bは、光学投影261, 262, 263の個々の2D性質を例証する。投影261, 262, 263は、z軸(図2B)まわりのM個(即ち、2つ以上)の異なった角度から同時に樹脂コンテナ29a内に収容されたターゲット樹脂体積29に送達される。ターゲット樹脂体積29の360度全周のまわりの全角度からの3D強度場261, 262, 263等々の同時の重ね合わせは、図2Aに示すように、3D強度関数I(x, y, z)を空間内に生成する。この強度関数は、固定された時間的な曝露期間にわたって作用する。曝露中、材料の形成が望まれる領域は、光硬化による固化を引き起こすのに十分な光エネルギー線量を受け、他方、形成(即ち、硬化)が望まれない領域は、不十分な線量を受ける。曝露期間後、樹脂コンテナ29aは、光硬化を達成するのに不十分な線量の光エネルギーを受けた3D部品の領域から未硬化樹脂を除去するためにリンスされることがある。

【0029】

光線場写真および3D表示に関する更なる基礎的な情報は、Ng, R. 2006年に見出すことができる。「Digital Light Field Photography」(博士論文、スタンフォード大学) Lanman, D. および Luebke, D., 2013年「Near-eye light field displays」(ACM Transactions on Graphics (TOG)), 32巻、6号、220頁、それらの開示は、引用により本明細書に組み込まれる。この情報は、マイクロレンズによってカバーされたLEDのアレイから必要な光学サブシステムを作成する可能性に関連する。システム24は、こうして多数の視点からイメージを同時に生成し、樹脂29のターゲット体積全体を投影261, 262, 263に各角度から同時に曝露する手段を形成する。各投影261, 262, 263が体積に同時に作用するという理由で、最終的な3D部品は、単一ステップで印刷できる。

【0030】

単一ステップで印刷し、シリアルなレイヤバイレイヤ印刷を回避することによって、既存のAM方法で起こり得る幾つかの潜在的な課題が、対処され得る。これらは、オーバーハングジオメトリを印刷すること、ならびに、粗末な表面仕上げや機械的な異方性などのレイヤアーチファクトを回避することの困難さを含む。このアプローチの追加の利点は、構築されている構造が流体媒体に対して移動せずに、低体積含有率ヒドロゲルスカフォールドなどの非常に従順または脆弱な構成要素の製造を可能にすることである(溶媒交換、その後の、超臨界CO₂乾燥などの適切なリンス/乾燥のアプローチと組み合わせる)。

【 0 0 3 1 】

図 3 を参照すると、システム 3 0 が示されており、それは、z 軸 4 2 のまわりの樹脂 3 2 のターゲット体積の物理的回転により、固定された時間期間にわたる 3 D 曝露線量分布を生成し、デジタル光処理 (D L P) プロジェクタまたは他のイメージ生成光学システム 3 4 からの単一 2 D 光学投影の時間的な操作と、制御装置 3 1 を介して同期化されている。本明細書で先に説明されたような実現では、イメージ生成光学システム 3 4 は、樹脂 3 2 のターゲット体積に衝突する、軸 x' 4 1 に沿った単一の方向からの、コリメートされた光学イメージまたは投影 3 6 を作り出す。イメージが幾らかの発散 (即ち、コリメートされていない) も有し得ること、および、それらを設計するためのアルゴリズムがそれに応じて更新できることが、理解されるであろう。

10

【 0 0 3 2 】

投影 3 6 の入射光と樹脂 3 2 のターゲット体積との間の相対角度 は、異なった平面イメージ (y' 、 z) が連続投影されるとき、時間につれて変化する。以前に説明されて図 1 B、1 C、および 1 D に示された座標系の取り決めに従って、(x 、 y 、 z) システムは、z 軸のまわりを回転し、そのとき、樹脂 3 2 のターゲット体積は、回転し、(x' 、 y' 、 z) システムは、空間に固定されたままである。こうして、樹脂 3 2 のターゲット体積が回転すると、 x 軸と x' 軸との間の角度 は変化する。1 つの例では、樹脂 3 2 のターゲット体積を保持する樹脂閉じ込め容器 3 8 は、回転マウントまたはステージ 4 0 にマウントされる。回転ステージは、z 軸 4 2 のまわりを回転し、D L P プロジェクタ 3 4 の動作は、制御装置 3 1 によってマウント 4 0 の回転と同期される。閉じ込め容器 3 8 は、樹脂 3 2 と同一 (または類似) の屈折率を有する流体 4 6 を収容する第 2 の閉じ込め容器 4 4 内に沈められることがある。これは、平らな界面を提供し、そこでは屈折率が変化し、適合しない屈折率の湾曲した界面でなら起こったであろうレンズ効果を軽減する。上のシステムの説明で留意すべきことは、 x' 軸が静止し、他方、(x 、 y 、 z) 座標系が樹脂閉じ込め容器 3 8 と共に回転する、というような座標表記であることである。

20

【 0 0 3 3 】

図 3 に示されたシステム 3 0 の別の実施形態は、複数の光学 2 D 投影を生成するために、第 2 の閉じ込め容器 4 4 の 4 つの鉛直側面の個々に面するように位置決めされた複数の D L P プロジェクタ 3 4 (即ち、複数の光学サブシステム) の使用を伴うことがある。更に別の実施形態は、図 3 に示されたシステム 3 0 の修正例を伴うことがあり、それにおいては、閉じ込め容器 3 8 および第 2 の閉じ込め容器 4 4 の双方は、静止状態に保持され、他方、D L P プロジェクタ 3 4 (即ち、光学サブシステム) は、複数の光学 2 D 投影を作り出すために、閉じ込め容器 3 8 の全周まわりのドーナツ形状の支持体 3 4 a 上を回転する。

30

【 0 0 3 4 】

図 3 に示された実施形態の更に別の変形例は、樹脂の代わりに光分解性 (即ち、光応答性) 材料を使用することを伴うことがある。例えば、本明細書で説明されるように、光分解性材料の固体 3 D ブロックから開始し、光学 2 D 投影を使用して、固体 3 D ブロックの特定の部分だけを除去して所望の 3 D 部品を作り出すかもしれない。そういった材料は、例えば、ティッシュエンジニアリングで使用される。

40

【 0 0 3 5 】

図 4 を参照すると、本開示の別の実施形態に従ったシステム 5 0 が示される。システム 5 0 の場合、樹脂体積 5 2 は、静止コンテナ 5 4 内に収容される。第 2 のコンテナ 5 5 は、樹脂体積 5 2 と同一 (または類似) の屈折率を有する追加量の流体 5 5 a を保持するために使用されることがある。光学サブシステム 5 6 は、 x 軸 (静止ターゲット体積に対して固定された) に沿って光学投影 5 8 を作り出す。投影によって生成された 3 D 強度マップは、回転アーム組立体 5 0 a を介して樹脂体積 5 2 (即ち、z 軸 6 0 のまわりで回転する x' 軸 6 1 に沿って伝播する) のまわりを回転する。静止ミラー 6 2 は、投影 5 8 を受け、それを回転アーム組立体 5 0 a 内に収容されたミラー 6 4 - 6 8 の集まりに送る。ミラー 6 4 - 6 8 は、樹脂体積を照らすために投影 5 8 を方向付けする。アームが回転すると

50

、 $y' - z$ 平面イメージは、全周まわりの多くの角度で投影される。他の実施形態と同様に、1回転にわたって全ての投影から生成される3D強度分布の合計からの正味の曝露線量は、材料の形成が望まれる領域が樹脂を光クロスリンクさせるのに十分な線量を受ける一方で、他の領域が不十分な線量を受けるようなものである。各角度での投影58の空間的および時間的な変調（即ち、投影される2D($y' - z$)イメージのイメージ強度の変調）は、例えば、図2A - 2Cに関して、空間光変調器(SLM)70またはDLPプロジェクタを用いて、上で説明されたのと同じやり方で制御される。システム50は、流体運動の考慮事項が排除されるので、図3に関連して説明された方法論と比較して潜在的に遥かに速い回転速度を可能にする。図2A - 2Bに関連して説明された方法論と比較して、システム50は、従来技術に基づいたより単純な光学システムの利点を提供する。図4に示された提案された構成は、1つまたは複数の同時回転する光学投影に適用することができる。図2Aおよび2Bに関連して説明された方法論と同様に、樹脂コンテナ54は、製造中に流体に対して移動せず、したがって、より壊れやすい、繊細な、または従順な構造の形成が可能である。

10

【0036】

最後に、コンピュータアキシャルリソグラフィを達成するのに必要な光信号多重化は、上で説明された実施形態のどれかまたは全ての特徴を共有するシステムによって実行することができる。1つの例として、360度の角度の投影全体に広がらない光線場投影ディスプレイ(図2A - 2B)は、角度範囲を拡大する目的で、図3のシステム30で使用されるものと同様に回転バイアルと組み合わせることができる。例えば、図2Aおよび2Bに示されるような湾曲したディスプレイの使用を考慮すると、これは、円筒形状を有する代わりに、半円筒または円筒の小さな角度セクションのように見える。それは、複数の角度から同時にイメージを依然として投影するが、角度の範囲は、360度(半円筒のケースでは、180度である)よりも小さく広がる。しかし、そのディスプレイが樹脂体積のまわりを回転し、投影が時間的に更新される場合に、図4に示された実施形態で、達成され得る可能性があるものよりも更に速く、360度全体に広がるのが可能である。そういった実施形態は、図2の実施形態と同じように速くは印刷しないであろうが、製造するのがより容易になることがある。同様に、樹脂のターゲット体積は、静止したままである場合があり、その間、360度未満の投影ディスプレイは、体積のまわりを回転する。

20

【0037】

本開示のシステムおよび方法は、その幾何学的な柔軟性においてホログラフィック光線場を使用する最近報告された体積非周期的(volumetric aperiodic)な3次元(3D)構造の製造に勝る。同様に、本開示の本質的に体積ベースのアプローチは、従来のレイヤバイレイヤ「2.1/2D」印刷技術に対して製造速度における桁違いの改善を提供する。最後に、レイヤバイレイヤ製造によって課される表面粗さの課題は、完全に除去されないとしても、実質上減少する。

30

【0038】

本開示のシステムおよび方法は、幾つかの用途での有用性を見出すことが期待される。例えば、本開示のシステムおよび方法は、より迅速な部品生成、改善された表面品質(例えば、層化からの「階段状」アーチファクトなし)、および、2Dレイヤスライシングおよび単純化された後処理から生じる幾何学的な制約の軽減などの幾つかの重要な態様におけるフォトリソベースの付加製造に対する改善を提供する。本明細書で説明された様々な実施形態および方法の潜在的な用途は、高品質の表面仕上げを備えたAM生成光学系と、中空またはオーバーハング構造と、広いダイナミックレンジのメソスケールAM構造と、樹脂に浸漬された事前製造された3D構造の印刷/製造と、柔らかい、柔軟な、または、もろいポリマと幾何学的に繊細な/壊れやすい構造(印刷中に相対的な構造/流体の動きがないので)の処理とを伴うことがある。

40

【0039】

実施形態の先の説明は、例証および説明の目的のために提供された。網羅的であること、即ち、本開示を限定することは、意図されていない。特定の実施形態の個々の要素または

50

特徴は、一般にその特定の実施形態に限定されないが、該当する場合には、交換可能であり、また、たとえ具体的に示されないかまたは記述されなくても、選択された実施形態において使用される場合がある。同じことは、多くのやり方で変えられることもある。そういった変形例は、本開示からの逸脱とみなされるべきではなく、全てのそういった変更は、本開示の範囲内に含まれることが意図される。

【 図 面 】

【 図 1 A 】

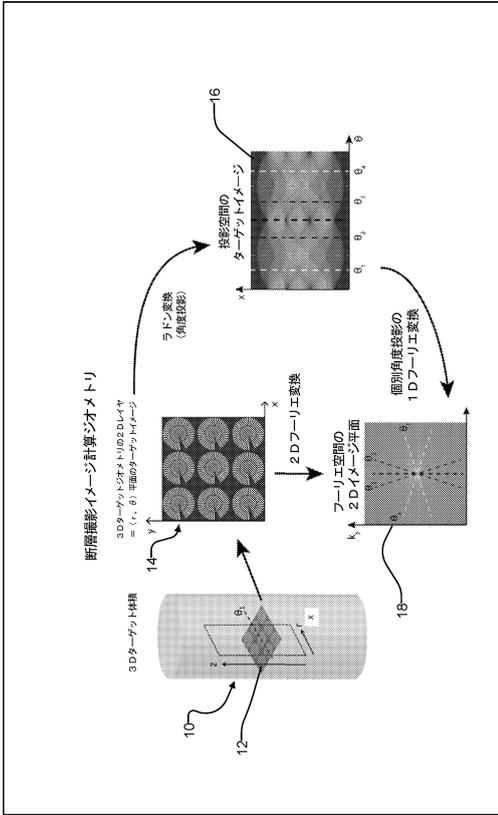
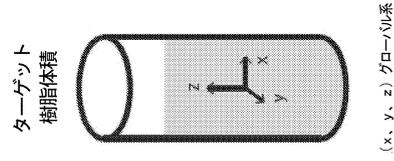


FIGURE 1A

【 図 1 B 】



(x, y, z) グローバル系

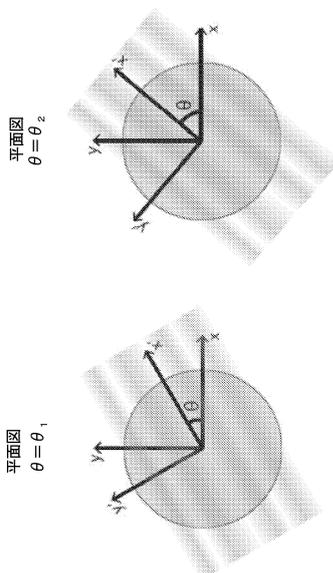
FIGURE 1B

10

20

30

【 図 1 C 】

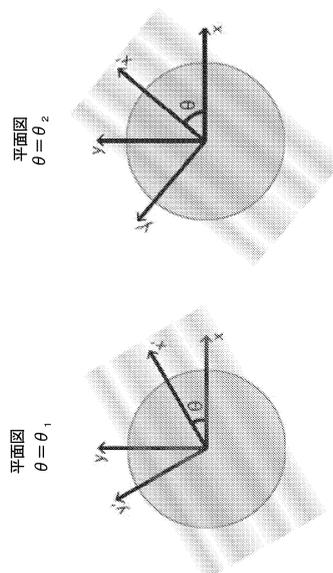


x' は順次的な曝露ケースでの伝播方向を表す

FIGURE 1C

FIGURE 1C

【 図 1 D 】



x' は順次的な曝露ケースでの伝播方向を表す

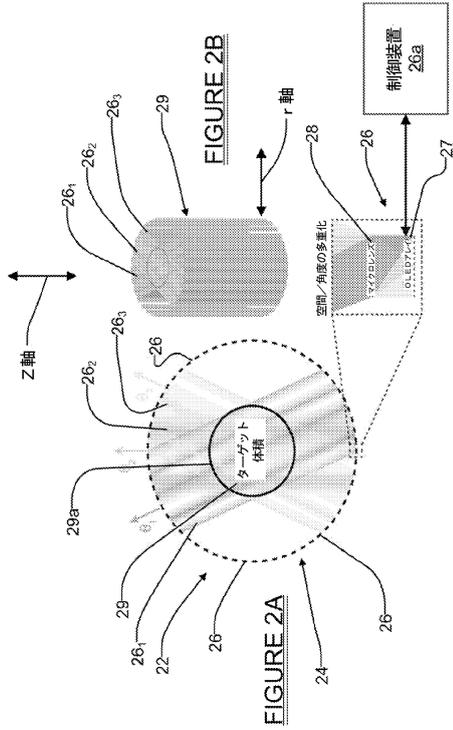
FIGURE 1D

FIGURE 1D

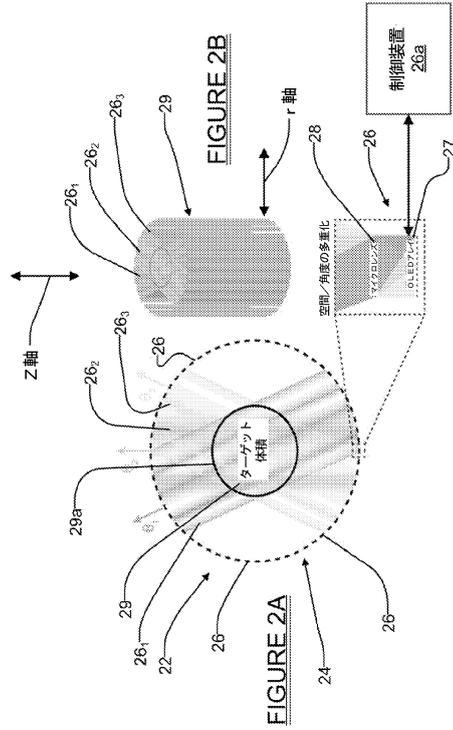
40

50

【 図 2 A 】



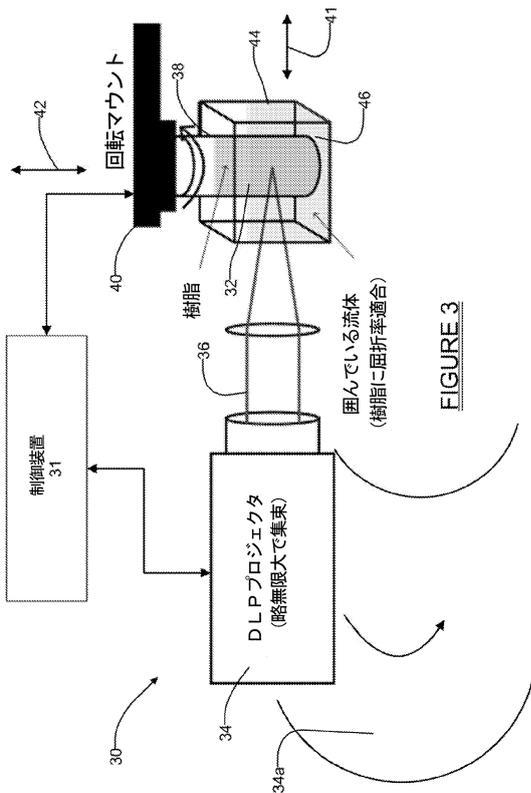
【 図 2 B 】



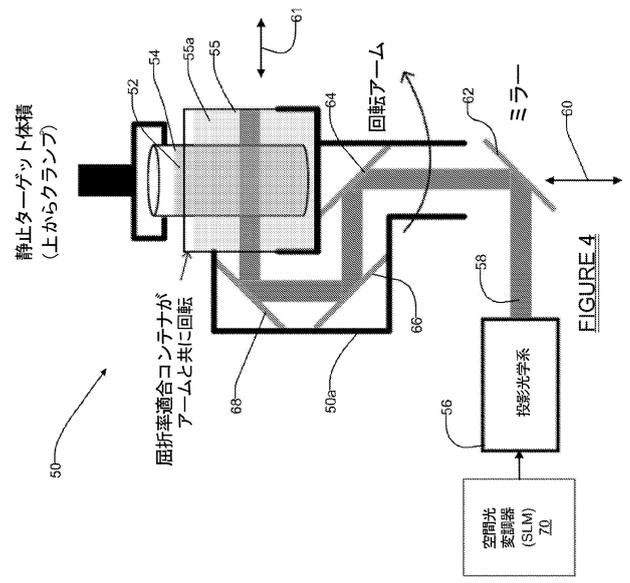
10

20

【 図 3 】



【 図 4 】



30

40

50

【手続補正書】

【提出日】令和4年3月8日(2022.3.8)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

3次元(3D)物体を形成する方法であって、
 光学的に透明な樹脂コンテナ内に収容される光応答性樹脂の体積を提供することと、
 光応答性樹脂の体積を通して複数の角度で光学サブシステムから光学投影を同時に向けることであって、光学投影が光応答性樹脂の体積を通過して延びるz軸まわりに更に向けられる、向けることと、
 光応答性樹脂の体積の選択された部分の硬化または除去の少なくとも一方を行って、他の部分を未変更のままにするのに十分である固定された時間的な曝露期間にわたって作用する計算された3次元強度分布を光学投影の個々に提供して、所望の3D物体を形成することと
 を含む、方法。

【請求項2】

複数の角度で光学サブシステムから光学投影を同時に向ける動作が、3D強度関数を空間内に生成する光学投影の同時の重ね合わせを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

複数の角度で光学サブシステムから送達される光学投影の計算設計が、z軸を通過して延びる複数のz平面の各1つについて、各角度での特定のz平面に対する1次元(1D)強度パターンを生成することと、
 各z平面について特定の角度に対する1D強度パターンを、その角度からの2次元(2D)イメージ投影に組み立てて、これを各角度について行うこととを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項4】

複数の角度で光学サブシステムから送達される光学投影の計算設計が、フィルタ補正逆投影法(FBP)技術または反復最適化ベース技術の少なくとも一方を含むフリードメインメソッドを使用することを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項5】

固定された時間的な曝露期間の後に、樹脂コンテナをリンスして、光硬化された3D物体の領域から未硬化樹脂を除去することを更に含む、請求項1に記載の方法。

【請求項6】

複数の角度で光学サブシステムから光学投影を同時に向ける動作が、複数の有機発光ダイオード(OLED)およびターゲット樹脂体積のまわりに配設されたマイクロレンズアレイからの光学投影を生成することを含み、特定の角度からの各投影が、特定のサブセットのOLEDから生成される、請求項1に記載の方法。

【請求項7】

制御装置を使用して、OLEDアレイを制御することを更に含む、請求項6に記載の方法。

【請求項8】

光学的に透明な樹脂コンテナを、樹脂の屈折率に適合する屈折率を有する流体で満たされている第2のコンテナ内に、配置することを更に含む、請求項1に記載の方法。

【請求項9】

複数の光学サブシステムから光学投影を向けることが、衝突光源の振幅または位相あるいは双方を制御する空間光変調器(SLM)を用いて光学投影を生成することを含む、請求

項 1 に記載の方法。

【請求項 1 0】

固定された時間的な曝露期間の後に、樹脂コンテナをリンスして、光硬化された 3 D 物体の領域から未硬化樹脂を除去することを更に含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 1】

光学サブシステムから 2 D 投影を向けることが、静止デジタル光処理 (D L P) プロジェクタから光学 2 D 投影を向けることを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 2】

光学サブシステムから光学 2 D 投影を向けることが、衝突光源の振幅または位相あるいは双方を制御する少なくとも 1 つの空間光変調器 (S L M) を使用して静止光学サブシステムから光学 2 D 投影を向けることを含む、請求項 1 に記載の方法。

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 ブレット・ケリー
アメリカ合衆国、カリフォルニア・９４５５０、リバモア、イースト・アベニュー・７０００、ピー・オー・ボックス・８０８、エル・７０３、ローレンス・リバモア・ナショナル・ラボラトリー
気付
- (72)発明者 ロバート・パナス
アメリカ合衆国、カリフォルニア・９４５５０、リバモア、イースト・アベニュー・７０００、ピー・オー・ボックス・８０８、エル・７０３、ローレンス・リバモア・ナショナル・ラボラトリー
気付
- (72)発明者 マクシム・シュステフ
アメリカ合衆国、カリフォルニア・９４５５０、リバモア、イースト・アベニュー・７０００、ピー・オー・ボックス・８０８、エル・７０３、ローレンス・リバモア・ナショナル・ラボラトリー
気付
- (72)発明者 クリストファー・スパダッチーニ
アメリカ合衆国、カリフォルニア・９４５５０、リバモア、イースト・アベニュー・７０００、ピー・オー・ボックス・８０８、エル・７０３、ローレンス・リバモア・ナショナル・ラボラトリー
気付
- (72)発明者 ヘイデン・テイラー
アメリカ合衆国、カリフォルニア・９４７０８、パークリー、シャスタ・ロード・２７６０
- (72)発明者 インドラセン・バタチャリア
アメリカ合衆国、カリフォルニア・９４７０９、パークリー、フランシスコ・ストリート・２０２
５、アパートメント・イー