

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2018-503548

(P2018-503548A)

(43) 公表日 平成30年2月8日(2018.2.8)

(51) Int.Cl.

B32B 3/24 (2006.01)

F 1

B 3 2 B 3/24

Z

テーマコード(参考)

4 F 1 O O

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2017-555430 (P2017-555430)
(86) (22) 出願日	平成28年1月9日(2016.1.9)
(85) 翻訳文提出日	平成29年9月8日(2017.9.8)
(86) 國際出願番号	PCT/US2016/012766
(87) 國際公開番号	W02016/112365
(87) 國際公開日	平成28年7月14日(2016.7.14)
(31) 優先権主張番号	62/101,827
(32) 優先日	平成27年1月9日(2015.1.9)
(33) 優先権主張国	米国(US)
(31) 優先権主張番号	62/118,821
(32) 優先日	平成27年2月20日(2015.2.20)
(33) 優先権主張国	米国(US)

(71) 出願人	507044516 プレジデント アンド フェローズ オブ ハーバード カレッジ アメリカ合衆国 マサチューセッツ 02 138, ケンブリッジ, クインシー ストリート 17
(71) 出願人	517242991 イネス マッシャー クリストファー カナダ オンタリオ ノース ランカスター バターナツ レーン 21430 ルーラル ロード #1

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】多層N P R構造

(57) 【要約】

いくつかの態様において、オーセチック構造は、第1のシートおよび第2のシートを備え、第1のシートが、第1の孔隙率をもたらす複数の第1の開口を第1のパターンで規定しており、第2のシートが、第2の孔隙率をもたらす複数の第2の開口を第2のパターンで規定している。第2のシートは、複数の第2の開口が複数の第1の開口を少なくとも部分的に塞ぐことにより、第1の孔隙率または第2の孔隙率よりも小さな第3の孔隙率を規定する複数の第3の開口を第3のパターンで規定するよう、第1のシートを覆うように位置決めされている。第2のシートは、複数の異なる接続要素によって第1のシートに接続されている。他の態様においては、上記第1および第2のシートと組み合わせて、1つ以上の開口および孔隙率を規定した1つ以上の別のシートが設けられている。

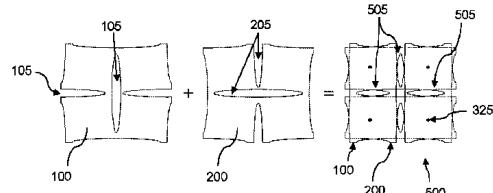


FIG. 1

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

第1の孔隙率を規定する複数の第1の開口を第1のパターンで規定した第1のシートと、
第2の孔隙率を規定する複数の第2の開口を第2のパターンで規定した第2のシートと
を備え、

前記第2のシートが、前記複数の第2の開口が前記複数の第1の開口を少なくとも部分的に塞ぐことにより、前記第1の孔隙率または前記第2の孔隙率よりも小さな第3の孔隙率を規定する複数の第3の開口を第3のパターンで規定するように、前記第1のシートを覆っており、

前記第2のシートが、複数の異なる接続要素によって前記第1のシートに接続されていることを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 2】

請求項1に記載のオーセチック構造であって、前記複数の第1の開口が、短軸に垂直な長軸を有する細長開口を含むことを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 3】

請求項2に記載のオーセチック構造であって、前記複数の第2の開口が、短軸に垂直な長軸を有する細長開口を含むことを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 4】

請求項3に記載のオーセチック構造であって、前記第1のパターンおよび前記第2のパターンが、複数行の前記細長開口を含み、各行の細長開口は、前記行に沿って前記長軸および前記短軸が交互に配設されていることを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 5】

請求項4に記載のオーセチック構造であって、前記第1の孔隙率および前記第2の孔隙率が少なくとも実質的に同じであることを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 6】

請求項3に記載のオーセチック構造であって、前記第1の開口のアスペクト比と前記第2の開口のアスペクト比とが等しいことを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 7】

請求項1に記載のオーセチック構造であって、前記第1の開口が、S字状の貫通スロットを含むことを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 8】

請求項6に記載のオーセチック構造であって、前記第2の開口が、S字状の貫通スロットを含むことを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 9】

請求項1に記載のオーセチック構造であって、前記複数の第2の開口が、前記複数の第1の開口の面積の少なくとも50%を塞ぐことを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 10】

請求項1に記載のオーセチック構造であって、前記複数の異なる接続要素が、前記第1のシートおよび前記第2のシートの単位セルの重なり合った中心点に配設されたピンまたはリベットを含んでおり、荷重下での前記第1のシートの前記単位セルおよび前記第2のシートの前記単位セルの回転方向が、反対方向であることを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 11】

請求項1に記載のオーセチック構造であって、前記複数の異なる接続要素が、前記第1のシートおよび前記第2のシートの単位セルの重なり合った中心点に配設された接合部を含んでおり、荷重下での前記第1のシートおよび前記第2のシートの前記単位セルの回転方向が、同じ方向であることを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 12】

10

20

30

40

50

請求項 1 に記載のオーセチック構造であって、前記第 1 のシートおよび前記第 2 のシートがそれぞれ、金属製シートを含むことを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 1 3】

請求項 1 に記載のオーセチック構造であって、前記第 1 のシートおよび前記第 2 のシートの構成が同じであることを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 1 4】

第 1 の孔隙率を規定する複数の第 1 の開口を第 1 のパターンで規定した第 1 のオーセチックシートと、

第 2 の孔隙率を規定する複数の第 2 の開口を第 2 のパターンで規定した第 2 のオーセチックシートと、

第 3 の孔隙率を規定する複数の第 3 の開口を第 3 のパターンで規定した第 3 のオーセチックシートと、

を備え、

前記第 3 のオーセチックシートが、前記複数の第 3 の開口が前記複数の第 2 の開口を少なくとも部分的に塞ぐように、前記第 2 のオーセチックシートを覆っており、

前記第 2 のオーセチックシートが、前記複数の第 2 の開口が前記複数の第 1 の開口を少なくとも部分的に塞ぐように、前記第 1 のオーセチックシートを覆っており、

前記第 3 のオーセチックシートが、複数の接続要素によって前記第 2 のオーセチックシートに接続されており、

前記第 2 のオーセチックシートが、複数の接続要素によって前記第 1 のオーセチックシートに接続されていることを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 1 5】

請求項 1 4 に記載のオーセチック構造であって、前記第 3 のオーセチックシートと前記第 2 のオーセチックシートとを接続する前記複数の接続要素が、前記第 2 のオーセチックシートと前記第 1 のオーセチックシートとを接続する同じ接続要素であることを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 1 6】

請求項 1 5 に記載のオーセチック構造であって、前記複数の接続要素が、前記第 1 のオーセチックシートおよび前記第 2 のオーセチックシートの単位セルの重なり合った中心点に配設されたピンまたはリベットを含んでおり、荷重下での前記第 1 のオーセチックシートおよび前記第 2 のオーセチックシートの前記単位セルの回転方向が、反対方向であることを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 1 7】

請求項 1 6 に記載のオーセチック構造であって、前記複数の接続要素が、前記第 3 のオーセチックシートおよび前記第 2 のオーセチックシートの単位セルの重なり合った中心点に配設されたピンまたはリベットを含んでおり、荷重下での前記第 3 のオーセチックシートおよび前記第 2 のオーセチックシートの前記単位セルの回転方向が、反対方向であることを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 1 8】

請求項 1 4 に記載のオーセチック構造であって、前記複数の接続要素が、前記第 1 のオーセチックシートおよび前記第 2 のオーセチックシートの単位セルの重なり合った中心点に配設された接合部を含んでおり、荷重下での前記第 1 のオーセチックシートおよび前記第 2 のオーセチックシートの前記単位セルの回転方向が、同じ方向であることを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 1 9】

請求項 1 4 に記載のオーセチック構造であって、前記複数の接続要素が、前記第 3 のオーセチックシートおよび前記第 2 のオーセチックシートの単位セルの重なり合った中心点に配設された接合部を含んでおり、荷重下での前記第 3 のオーセチックシートおよび前記第 2 のオーセチックシートの前記単位セルの回転方向が、同じ方向であることを特徴とするオーセチック構造。

10

20

30

40

50

【請求項 2 0】

請求項 1 4 に記載のオーセチック構造であって、

第 4 の孔隙率を規定する複数の第 4 の開口を第 4 のパターンで規定した第 4 のオーセチックシートをさらに備え、

前記第 4 のオーセチックシートが、前記複数の第 4 の開口が前記複数の第 3 の開口を少なくとも部分的に塞ぐように、前記第 3 のオーセチックシートを覆っており、

前記第 4 のオーセチックシートが、複数の接続要素によって前記第 3 のオーセチックシートに接続されていることを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 2 1】

請求項 2 0 に記載のオーセチック構造であって、

第 5 の孔隙率を規定する複数の第 5 の開口を第 5 のパターンで規定した第 5 のオーセチックシートをさらに備え、

前記第 5 のオーセチックシートが、前記複数の第 5 の開口が前記複数の第 4 の開口を少なくとも部分的に塞ぐように、前記第 4 のオーセチックシートを覆っており、

前記第 5 のオーセチックシートが、複数の接続要素によって前記第 4 のオーセチックシートに接続されていることを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 2 2】

請求項 2 0 に記載のオーセチック構造であって、

第 6 の孔隙率を規定する複数の第 6 の開口を第 6 のパターンで規定した第 6 のオーセチックシートをさらに備え、

前記第 6 のオーセチックシートが、前記複数の第 6 の開口が前記複数の第 5 の開口を少なくとも部分的に塞ぐように、前記第 5 のオーセチックシートを覆っており、

前記第 6 のオーセチックシートが、複数の接続要素によって前記第 5 のオーセチックシートに接続されていることを特徴とするオーセチック構造。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0 0 0 1】**

本開示は一般的に、ポアソン比が調整された多孔質構造に関する。より詳細には、本開示の態様は、負のポアソン比 (N P R) 挙動を示す人工パターンを備えたオーセチック構造のほか、このような構造を用いたシステム、方法、および装置に関する。

30

【背景技術】**【0 0 0 2】**

本願は、2015年2月20日に出願された米国仮特許出願第62/118,821号および2015年1月9日に出願された米国仮特許出願第62/101,827号の優先権を主張するものであり、両者のすべての内容を本願に引用して援用する。

30

【0 0 0 3】

特定の軸に沿って材料が圧縮されると、通常、軸方向の印加荷重と垂直な方向への膨張が観測される。この挙動を特徴付ける材料特性は、ポアソン比として知られており、一軸荷重条件下における横断 / 横方向ひずみの軸 / 縦方向ひずみに対する比の負数として定義されている。大半の材料は、正のポアソン比（たとえば、アルミニウム、真鍮、および鋼の場合はおよそ 0.3）を特徴としており、軸方向に圧縮された場合は横断方向に膨張し、軸方向に伸長された場合には横断方向に収縮する。ただし、負のポアソン比 (N P R) を有し、「オーセチック」材料としても知られている材料は、軸方向に圧縮された場合は横断方向に収縮し、軸方向に伸長された場合には横断方向に膨張する。

40

【0 0 0 4】

フィリップ D. ナポリ (Philip D. Napoli) に付与された米国特許第5,233,828号（「'828特許」）は、高温用途に用いられる人工構造部材（燃焼器ライナ）の一例を示している。燃焼器ライナは一般的に、ガスタービンの燃焼部に用いられるが、タービン翼等、ガスタービンの排出部または他の部分もしくは構成要素にも使用可能である。動作時、燃焼器は、3000°F以上等の超高温でガスを燃やす。こ

50

の異常な高熱がタービンへの退出前に燃焼器を損傷することのないように、燃焼器ライナが燃焼器に挿入されて、周囲のエンジンを隔離している。燃焼器ライナ全体での温度差および圧力差を最小限に抑えるために、従来は、「828特許に示されるように、冷却スロットが設けられている。「828特許は、離隔した冷却孔が連続パターンで配設され、ライナの壁を通して角度がついた環状燃焼器ライナの一部を示している。ジェームズ・ペイジ・ストロール (James Page Strohl) らに付与された米国特許第8,066,482 (B2) 号は、ガスタービンの所望領域の冷却を増強するとともに内部および周囲における応力レベルを抑えるように成形された冷却孔を有する人工構造部材の別の例を示している。同様に、ヤコブ・ケラー (Jacob Kellie) 博士に付与された欧州特許第0971172 (A1) 号は、ガスタービンの燃焼帯に用いられる穿孔ライナの別の例を示している。

10

【0005】

さらに別の例において、メアリー・C・ボイス (Mary C. Boyce) らによる米国特許出願公開第2010/0009120 (A1) 号は、臨界的なマクロ的応力またはひずみの印加に際して構造的構成が変容するエラストマまたは弾塑性周期固体を含むいくつかの変容性周期構造を開示している。ハーバード大学の学長およびフェローによるPCT特許出願第US2014/025324号は、とりわけ、負のポアソン比拳動を与える繰り返し細長開口パターンを有する空隙構造を開示している。ハーバード大学の学長およびフェローによるPCT特許出願第US2014/024830号は、とりわけ、応力の印加に際して疑似オーセチック (NPR) 拳動を示す人工空隙構造を有する固体 (正のポアソン比を有する) を開示している。人工空隙構造は、たとえばガスタービン燃焼器を含む用途に適した孔隙率を与える。上記特許文献はいずれも、それぞれのすべての内容をあらゆる目的で本願に引用して援用する。

20

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0006】

本開示の態様は、多層負ポアソン比 (NPR) 構造に関し、特に、熱機械膨張および孔隙率が重要な設計検討事項である産業用途のオーセチック構造に関する。

【0007】

本概念のいくつかの態様において、オーセチック構造は、第1のシートおよび第2のシートを備え、第1のシートが、第1の孔隙率をもたらす複数の第1の開口を第1のパターンで規定しており、第2のシートが、第2の孔隙率をもたらす複数の第2の開口を第2のパターンで規定している。第2のシートは、複数の第2の開口が複数の第1の開口を少なくとも部分的に塞ぐことにより、第1の孔隙率または第2の孔隙率よりも小さな第3の孔隙率を規定する複数の第3の開口を第3のパターンで規定するよう、第1のシートに被せられている。第2のシートは、複数の異なる接続要素によって第1のシートに接続されている。いくつかの態様において、第1のシートおよび第2のシートは、同じ孔隙率および同じ種類の空隙を有しており、これらの唯一の違いは、両者の相対的な配向および/または両者のスケールファクタである。

30

【0008】

本概念のいくつかの態様によれば、オーセチック構造は、第1の孔隙率を規定する複数の第1の開口を第1のパターンで規定した第1のオーセチックシートと、第2の孔隙率を規定する複数の第2の開口を第2のパターンで規定した第2のオーセチックシートと、第3の孔隙率を規定する複数の第3の開口を第3のパターンで規定した第3のオーセチックシートとを備える。第3のオーセチックシートは、複数の第3の開口が複数の第2の開口を少なくとも部分的に塞ぐように、第2のオーセチックシートを覆っており、第2のオーセチックシートは、複数の第2の開口が複数の第1の開口を少なくとも部分的に塞ぐように、第1のオーセチックシートを覆っている。第3のオーセチックシートは、複数の接続要素によって第2のオーセチックシートに接続されており、同様に、第2のオーセチックシートは、複数の接続要素によって第1のオーセチックシートに接続されている。セルの

40

50

中点は、外部荷重が印加された場合に同じ変形パターンを有することから、唯一、互いに接続されている。

【0009】

本概念の他の態様によれば、多シートオーセチック構造を製造するコンピュータ実装方法は、コンピュータと動作可能に関連付けられた1つ以上の入力装置を介して、所要孔隙率、所要負ボアソン比（N P R）の値、および所要剛性のうちの少なくとも1つを含む多シート構造の設計要件を受信する行為を含む。また、この方法は、コンピュータを用いて、単位セル構成および開口パラメータをそれぞれが規定する複数のシートのモデルを構築するとともに、単位セルの中心点で少なくとも隣接するシートにそれぞれ接続された複数のシートを利用する多シート構造のモデルを構築する行為を含む。また、この方法は、コンピュータを用いて、模擬荷重下で多シート構造のモデリングを行うとともに、多シート構造が設計要件を満たしているかを判定する行為を含む。これを満たしていない場合、コンピュータは、(i) 複数のシートのうちの少なくとも1つのモデル、多シート構造のモデル、または複数のシートのうちの少なくとも1つのモデルおよび多シート構造のモデルの両者のうちの少なくとも1つの態様を変形する行為と、(ii) 多シート構造のモデルが設計要件を満たすものと判定されるまで、模擬荷重下で多シート構造のモデリングを行う行為とを反復的に当該コンピュータに実行させる命令セットを実行するように構成されている。また、この方法は、コンピュータに多シート構造のモデルを非一時的物理的コンピュータ可読記憶媒体に保存させる行為を含む。

10

【0010】

上記概要は、本開示のあらゆる実施形態またはあらゆる態様を表すことを意図したものではない。むしろ、上記概要は、本明細書に記載の新規態様および特徴の一部を例示しているに過ぎない。本開示の上記特徴および利点ならびに他の特徴および利点については、添付の図面および特許請求の範囲に関連してなされる場合の本発明を実施する代表的な実施形態および形態に関する以下の詳細な説明から容易に明らかとなるであろう。

20

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本概念の少なくともいくつかの態様に係る、分離状態および多シートまたは多層オーセチック構造を構成する組み合わせ状態のオーセチックシートの非変形構成を示した図である。

30

【図2】本概念の少なくともいくつかの態様に係る、シートを組み合わせて多シートまたは多層オーセチック構造を形成する別の技術であって、シートの単位セル間の比が1：2となるように最前シートがスケーリングされた、別の技術を示した図である。

【図3】本概念の少なくともいくつかの態様に係る、シートを組み合わせて多シートまたは多層オーセチック構造を形成するさらに別の技術であって、シートの単位セル間の比が1：3となるように最前シートがスケーリングされた、さらに別の技術を示した図である。

【図4】本概念の少なくともいくつかの態様に係る、シートを組み合わせて多シートまたは多層オーセチック構造を形成するさらに別の技術であって、シートの単位セル間の比が1：2となるように最前シートがスケーリングされ、後側シートが前側シートに対して45°回転した、さらに別の技術を示した図である。

40

【図5】本概念の少なくともいくつかの態様に係る、Sスロット開口を示した図である。

【図6】本概念の態様に係る、多シートまたは多層オーセチック構造のモデルおよび試料を構築するコンピュータ実装方法の一般的な態様を示したフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0012】

本開示は、種々の変形および代替形態が可能であり、図面には、いくつかの代表的な実施形態を一例として示しており、これを本明細書において詳しく説明する。ただし、本発明に係る態様は、図面に示す特定の形態に限定されないことが了解されるものとする。むしろ、本開示は、添付の特許請求の範囲が規定する本発明の主旨および範囲内に含まれる

50

すべての変形、同等物、組み合わせ、および代替物を網羅することになる。

【0013】

本開示は、多くのさまざまな形態の実施形態が可能である。図面には、本開示がその原理の例示と考えられ、その広範な態様を図示の実施形態に限定することを意図していないという了解の下、代表的な実施形態を示しており、これを本明細書において詳しく述べる。この限りにおいて、たとえば要約、概要、および詳細な説明の項には開示されているものの、特許請求の範囲には明確に記載されていない要素および限定事項については、単独でも集合的にあっても、暗示、推論やそれ以外の方法によって特許請求の範囲に組み込まれることがないものとする。この詳細な説明の目的には、具体的な否定または論理的な禁止のない限り、単数形は複数形を含み、逆も同様である。また、単語「含む（including）」、「備える（comprising）」、または「有する（having）」は、「無制限に含む（including without limitation）」を意味する。さらに、本明細書において、「およそ（about）」、「ほぼ（almost）」、「実質的に（substantially）」、「略（approximately）」等の近似の単語は、たとえば「その値（at）、近傍（near）、またはその値近く（nearly at）」、「3～5%以内（within 3-5% of）」、「許容製造公差内（within acceptable manufacuring tolerances）」、またはこれらの任意の論理的組み合わせの意味で使用可能である。

10

【0014】

本開示の態様は、マクロ的な荷重印加時に負のポアソン比（NPR）挙動をもたらす繰り返し開口および突起パターンを含む窪み・空隙混成オーセチック構造に関する。ポアソン比（または「ポアソン係数」）は一般的に、伸長物体中の横断方向収縮ひずみの長手方向引張ひずみに対する比として特徴付けられる。ポアソン比は通常、多くの合金、ポリマー、ポリマー発泡体、およびセル状固体を含むほとんどの材料において正であり、伸長時に断面が薄くなる。本明細書に開示のオーセチック構造は、負のポアソン比挙動を示す。

20

【0015】

開示の概念の態様によれば、オーセチック構造が1つの軸に沿って（たとえば、Y方向）に圧縮されている場合は、隣接開口の配置のされ方によって、同軸ひずみが各セルの中心周りのモーメントとなる。これにより、セルが回転する。各セルは、そのすぐ隣のセルと反対方向に回転する。この回転により、水平方向に隣接するセル間の横断軸（X方向）距離が短くなる。言い換えると、構造は、Y方向に圧縮することによって、X方向に収縮する。逆に、Y方向に引っ張ると、X方向に膨張する。構造全体のスケールにおいて、これは、オーセチック材料の挙動に似ている。ただし、本明細書に開示の構造の多くは、従来の材料で構成されている。したがって、その純粋な材料自体は、正のポアソン比を有する可能性があるものの、本明細書に開示の開口パターンおよび組み合わせの導入による構造の変形によって、当該構造は、局所的および／または全体的に、負のポアソン比を有するものとして振る舞う。

30

【0016】

たとえば図1に見られるように、NPR構造500は、結果的に（紙面に垂直な）Z平面に開口505のパターンを生じるように配置されたXY平面に存在する開口105、205のパターンを含む。開口は、冷却孔および／または減衰孔としてのほか、その配置によって、応力軽減形体としても作用し得る。図1に示すように、開口105、205は、水平配向および垂直配向の細長（たとえば、橢円）構造（本明細書においては、「開口」、「空隙」、「スロット」、または「貫通孔」とも称する）を規定している。本概念の少なくともいくつかの態様において、これらの細長開口は、その行および列が少なくとも実質的に等しく離隔したアレイ等、局所的または全体的な程度の繰り返しパターンで配置されている。図1の例に示すように、水平配向および垂直配向の開口105、205は、垂直配向の開口が水平配向の開口に隣接して配設され、逆も同様となるように交互である。

40

【0017】

50

本明細書に開示のN P R構造は、たとえば、一般的に開口の表面積 A_A を構造の表面積 A_S で除したものとして規定される一定の「孔隙率」(すなわち、冷却空気が流れる開口)すなわち孔隙率 = A_A / A_S を要するガスタービンの燃焼器壁に利用可能である。一例として、特定の構成要素には、40~50%の孔隙率が求められる場合がある。本概念の種々の態様において、開示のN P R構造の孔隙率は、本明細書に規定の開口(たとえば、図1の開口105、205)を有する2つ以上の構造層(たとえば、図1の構造100, 200)の選択的組み合わせによって、たとえば0~50%(たとえば、0.3~9%、1~4%、約2%等)の任意所望の孔隙率を与えるように調整可能である。図1に示すように、開口105の第1のパターンを有する第1の層100および開口205の第2のパターンを有する第2の層200の組み合わせによって、開口505の第3のパターンを有するN P R構造500が形成されている。本概念の少なくともいくつかの態様において、第1の層100および第2の層200はそれぞれ、同じ開口パターン(たとえば、開口105)を含んでおり、接続要素325を介して、開口105のパターンをオフセットさせて第1の層と第2の層を接続することによりN P R構造500が形成されている。このようなオフセットは、横オフセット(たとえば、XY平面)、および/または垂直オフセット(すなわち、Z方向)、および/または回転オフセット(たとえば、選択した角度だけ第2のシートに対して第1のシート100を回転)のうちの1つ以上である。

10

【0018】

いくつかの態様において、層100, 200のうちの1つ以上の材料は、Inconel 1(たとえば、IN100、IN600、IN713)、Waspaloy、René合金(たとえば、René41、René80、René95、RenéN5)、Haynes合金、Incoloy、MP98T、TMS合金、またはCMSX(たとえば、CMSX-4)単結晶合金を含むニッケルベースの超合金等の超合金を含むが、これらに限定されない。本概念は、材料に制限がなく、非ゼロ孔隙率構造を利用する特定の用途での利用に適した他の材料(たとえば、ステンレス鋼、チタン等)を含んでいてもよい。一例として、N P R構造500は、第1の材料組成の第1の層100、第2の材料組成の第2の層200、第3の材料組成の第3の層等を備えていてもよい。あるいは、N P R構造500を構成する各層が同じ材料を含んでいてもよい。

20

【0019】

各層100, 200およびN P R構造500はそれぞれ、細長開口105、205、505について、事前に選択したアスペクト比を示している。本明細書において、開口の「アスペクト比」は、開口の長さを開口の幅で除したものまたは開口の長軸の長さを短軸の長さで除したものを意味するように規定されている。いくつかの実施形態において、開口のアスペクト比は、約5~40、いくつかの実施形態においては約20~30であるのが望ましい場合がある。寸法的に、開示の概念および構造は、長さスケールがミリメートルのパターンを利用して提示している。ただし、これらの概念は、如何なる特定の長さスケールにも限定されず、より小さな長さスケールまたはより大きな長さスケールで同じパターンおよび構造を有する構造にも等しく適用可能である。

30

【0020】

この場合も、図1の例においては、一例として国際公開第2014/151045(A1)号または米国特許出願公開第2011/0059291(A1)号(両者のすべての内容を本願に引用して援用する)に開示されているような高孔隙率疑似オーセチックシートの第1の層100および第2の層200の一方が他方の層の開口を少なくとも部分的に閉塞または被覆する(たとえば、層200が第1の層100の開口105を少なくとも部分的に塞ぐ)ように、各層が互いに取り付けられている。いくつかの態様において、層(たとえば、200)は、隣接層(たとえば、層100)の開口(たとえば、105)の大部分(たとえば、50%超)を閉塞または被覆するように配設されている。複数の層それぞれの開口の選択および各層の相互の相対的な位置決めを制御することによって、特定の孔隙率(たとえば、低孔隙率あるいはゼロ孔隙率)を実現するように構造の有効孔隙率を調整可能であり、その結果、ゼロ孔隙率が必要な用途を含めて、多様な潜在的用途に本概

40

50

念を利用可能である。

【0021】

ある層（たとえば、層100）の別の層（たとえば、層200）への取り付けに関して、これらの層は、いくつかの従来方法で互いに取り付け可能であり、そのいくつかの実例は以下の通りである。

【0022】

第1の例においては、図1に示すように、第2の層200が第1の層100に対して90°だけ回転するように、2つの同一のオーセチックまたは疑似オーセチック層またはシート100, 200が互いに隣接して配設されている。図1に示すように、これらの層は、相対的な回転を有するものの相対的な変位はゼロである単位セルの中心点で接合されている。同じ荷重下では、層の単位セルが反対方向に回転することから、単位セルの回転を可能にするリベット接合を接続要素325として使用可能であり、都合が良い。

【0023】

図2に示す第2の例においては、第2の層200が第1の層100に対して90°だけ回転するように、2つの類似するオーセチックまたは疑似オーセチック層またはシート100, 200が互いに隣接して配設されている。図2において、ある層（すなわち、図示の層200）の部分構造は、他方の層（すなわち、層100）のサイズの半分（1:2）にスケーリングされている。この構成において、層100, 200は、部分構造のスケールがより大きなシート（たとえば、100）の中心点において、異なる種類の接続要素325、325'の組み合わせにより取り付けられている。荷重下では、単位セルの半分の回転方向が両層で同じであることから、これらの接続に溶接接合325'を使用可能である一方、残りの半分は、両者間の相対的な回転を可能にするリベット325を用いて接続されている。層100, 200は、それぞれの単位セルの中心点で接合されているのが好ましく、この点においては、両層が荷重下で相対的に回転可能であってもよいが、相対的な変位は示さない。上述の通り、同じ荷重下で層の単位セルが反対方向に回転する場合は、単位セルの相対的な回転を可能にするリベット接合を接続要素325として使用可能であり、都合が良い。

【0024】

図3に示すNPR構造500の第3の例においては、第2の層200が第1の層100に対して90°だけ回転するように、2つの類似するオーセチックまたは疑似オーセチック層またはシート100, 200が互いに隣接して配設されている。図3において、ある層（すなわち、図示の層200）の部分構造は、他方の層（すなわち、層100）の比（1:n）にスケーリングされており、nは如何なる整数であってもよいが、この例では3であり、比が1:3となる。この構成において、層100, 200は、部分構造のスケールがより大きなシート（たとえば、100）の中心点において、溶接接合を含む接続要素325'により取り付けられている。あるいは、図3の実施形態では、リベットの接続要素325を使用することも可能である。

【0025】

図4に示すNPR構造500においては、層またはシートの一方（たとえば、後層100）が他方の図示された層またはシート（たとえば、200）への接続に先立って、45°だけ回転するとともに、1:2（1:1.4142）にスケーリングされている。この設計において、接続要素325の半分はリベット接続である（荷重下での単位セルの回転方向が層100, 200間で異なる）一方、他方の接続要素325'（荷重下での単位セルの回転方向が層100, 200間で同じ）は、溶接またはリベットである。

【0026】

上記例においては、2層のオーセチックシート100, 200間の関係および接続について論じている。ただし、本概念は、任意数の層状シート、特に、層状オーセチックシートの使用を明示的に考慮することにより、NPR構造500の結果的な孔隙率を制御可能としていることが強調される。

【0027】

10

20

30

40

50

さらに、多層オーセチック構造の概念および多層オーセチック構造を形成する方法は、¹⁰
楕円開口 105, 205 を有する層またはシートに関して開示しているが、接続要素（たとえば、リベット、溶接等）を介して、あらゆる種類の開口（たとえば、止め孔、二重 T 空隙、S スロット等）のオーセチック層またはシートを一緒に取り付けることにより、本概念に係る多層オーセチックまたは N P R 構造を生成可能である。実例として、図 5 は、S スロット 405 が貫通して伸びている N P R シート 400 の一例を示している。図 1 の例によれば、図 5 に示す複数のシート 400（および / または、図 1 のシート 100, 200 等の非限定的な他のシート）を互いに隣接して配置可能であるとともに、荷重下で、複数の単位セルが必要に応じて相対移動可能となるように、接続要素 325 を介して接続可能である。

10

【0028】

本概念の態様に係る多層構造は、オーセチック挙動を実現するのみならず、孔隙率を調整して抑えることができる。一例としては、上記技術を用いることにより、楕円空隙を含み孔隙率 5 % のパターンを有する第 2 の層に対して楕円空隙を含む孔隙率 5 % のパターンを有する第 1 の層（たとえば、図 1 参照）を組み合わせることにより（両層において、楕円のアスペクト比が 30）、孔隙率が 1.6 % の N P R 構造を提供するようにしてもよい。²⁰ 図 1 に示す接続技術を用いて、これら 2 つの層が接続されている場合（すなわち、同一のシートが互いに接続され、第 2 の層が第 1 の層に対して 90°だけ回転している場合）は、孔隙率が 1.6 % の N P R 構造が生成される。特に、1 つ以上のシートのアスペクト比およびスケーリングの選択における変動を許して、本概念に係る開口（たとえば、105, 205, 405 等）を積み重ねることにより、孔隙率を任意所望のレベルに調整できるようにする。実例として、楕円開口ではなく S 字状スロット（図 5 参照）が上記例で用いられていたとすれば、孔隙率の低下がはるかに著しくなる（孔隙率が 1.6 % 未満の構造になる）。

20

【0029】

ガスター・ビン構成要素におけるオーセチック構造の特定の用途を強調しているが、本概念は、横断方向の熱機械膨張および / または疲労破損も構成要素の設計に考慮すべき他の産業上の構成要素に適用可能である。

【0030】

本概念の少なくともいくつかの態様によれば、実現すべき孔隙率の既知の最終値のほか、構造の所要負荷アソシ比および最大許容応力によって、N P R 構造 300 の設計が特徴付けられる。この設計限度内で、当該用途に可能な開口の形状（たとえば、パターン、形状（たとえば、楕円、S 字状等）、アスペクト比等）が決定される。この設計限度によって、孔隙率の適当な値を有する単層 N P R 構造が利用可能であり、このような単層 N P R 構造を従来技術に従って利用可能であるものと判定されるようになっていてもよい。ただし、この単層 N P R 構造の孔隙率が用途に必要な孔隙率よりも高い場合は、複数の層またはシート（たとえば、100, 200 等）を設計し、構築して、所望の孔隙率の調整された多層 N P R 構造を提供可能であり、都合が良い。一般的に、層の相互接続に関して、図 1 ~ 図 4 にそれぞれ示すさまざまな構成よりも優先されるものはない。N P R 構造 300 の最終構成は、必要な孔隙率によって決まる。

30

【0031】

たとえば、楕円空隙でパターン化された孔隙率固定の複数のシートの場合、2 つ（以上）のオーセチックシートの層状組み合わせによる孔隙率の低下は、楕円のアスペクト比と逆相関しており、楕円のアスペクト比が高い方のシートは、楕円のアスペクト比が低い方のシートよりも孔隙率の低下が著しい。また、孔隙率の低下の程度は、使用するシートの数とも関係しており、より多くのシートを組み合わせて使用すると、それに応じて孔隙率も著しく低下する。

40

【0032】

図 6 のフローチャートを参照すると、これは、本開示の少なくともいくつかの態様に係る、オーセチック構造を設計し、作製する方法を全般的に示している。図 6 は、コンピュ

50

ータ（たとえば、コンピュータ支援設計（C A D）またはコンピュータ支援製造（C A M）システム）を利用してN P R構造を設計することにより、開示の概要と関連付けられた上記または以下の機能のいずれかまたはすべてを実行するための、1つの非限定的なプロセスの一般化態様を表している。

【0033】

開始点として、この方法では、構造の関連する設計要件の入力が必要であり、設計要件には、外部荷重要件、熱減衰要件、ポアソン比（指定の場合）、孔隙率、剛性等が挙げられるが、これらに限定されない。そして、これらの設計要件から、構造の設計要件が潜在的にオーセチック（N P R）構造の利用の利益を享受しているかを判定する。たとえば、構造の意図する用途で熱応力が支配的であったり、変位を制御した荷重条件下で動作したりする場合は、N P R構造の利益を享受しているものと見込むことができる。オーセチック構造の適用が有益でないと判定された場合は、構造の従来設計が利用される。

10

【0034】

ただし、当該構造がN P R構造を含むのが好都合な場合は、当該構造の負のポアソン比（N P R）の値または見込まれる値の許容範囲の少なくとも一部を残りの受信設計値から決定する。支配的な設計変数（たとえば、剛性、孔隙率等）に応答して、本概念（たとえば、図1～図4それに提示の技術）に係る多層構造の初期設計をさらなる解析およびモデリングの開始点として展開する。一例として、構造に特定のN P R値（または、許容N P R値の範囲内の値）が必要な場合は、スロットの設計パラメータ、パターン、層化、および層の配向を選択して、可能な限り所望のN P R値を近似すると同時に、付随する設計変数（たとえば、孔隙率、剛性等）を満たす。本概念のいくつかの態様においては、構造がゼロ孔隙率および／または高剛性を要するか、中間孔隙率（たとえば、予想される最適用途の範囲において、一般的に0%～およそ9%と予想される）および／または中間剛性を要するか、高孔隙率（たとえば、予想される最適用途の範囲において、一般的におよそ9%を上回ると予想される）および／または低剛性を要するかを一般的に判定する。

20

【0035】

構造の設計の一般的な限界を確立したら、多層構造の各層の別途詳細の選択により、さらなるコンピュータモデリングの開始点を確立する。このことは、（各層の）スロット／開口（たとえば、図1の開口105、205）パラメータ（たとえば、形状、スケール等）の選択、単位セル配置、層数、および層の相対的な配向等を含むが、これらに限定されない。そして、コンピュータモデリングの実行により、設計がすべての設計要件（たとえば、所要孔隙率、所要剛性等）を満たしているかを判定する。設計要件がすべて満たされているわけではない場合、コンピュータモデリングシステムが実行するこの方法では、コンピュータモデリングの次の反復の入力として、1つ以上の設計変数を反復的に変更する（たとえば、開口のサイズの拡大または縮小、開口の形状の変更、層の追加または削除、ある層の別の層に対する相対的な配向の増大または低減、開口の面積の増大または低減等）。このプロセスは、少なくとも設計がすべての設計要件を満たすものと判定されるまで続き、このような判定においては、コストモデル、減衰モデル、冷却モデル、応力モデル等、1つ以上の従来の設計モデルを利用するものが好都合であり得るが、これらに限定されない。このプロセスは、一連の設計がすべての設計要件を満たすものと判定されるまで続くのが望ましいが、必ずしも必要ではなく、この一連の設計から、特定の用途の最適な設計（たとえば、最低コストの選択肢、最長寿命の選択肢等）が確定可能である。

30

【0036】

適当な設計が決まったら、非一時的物理的コンピュータ可読媒体に保存し、後で（または、実質的に同時に）適当な従来の無線または有線通信装置を介して、遠隔のコンピュータまたはC N C（コンピュータ数値制御）システムに送信する。ここに全般的に開示された設計プロセスは、ハードディスク、磁気テープ、磁気装置、C D - R O M、D V D、R A M、P R O M、E P R O M、フラッシュE P R O M、または半導体メモリデバイス（メモリチップ、フラッシュドライブ等）の非一時的物理的コンピュータ可読媒体が保持するコンピュータ実行可能命令セットを用いて、コンピュータ実装されるのが好都合である。

40

50

これらの命令セットは、コンピュータ（たとえば、デスクトップコンピュータ、ラップトップコンピュータ、タブレットコンピュータ、携帯用機器等）と動作可能に関連付けられた1つ以上のプロセッサによる実行によって、所定の設計限度（たとえば、最大応力、最短所定寿命等）の影響を受ける多層NPR構造を設計するとともに、このような設計を外部のコンピュータまたはシステムに保存および／または送信する。一例として、外部のコンピュータまたはシステムとしては、多層NPR構造の個々の層の形成による多層構造の1つ以上の層の生成に用いられるCNCマシン（たとえば、レーザカッター）が挙げられる。

【0037】

本概要によれば、均一または「普遍的」な単層構造（孔隙率および開口形状が指定された開口を有する單一のシート材料）の使用により、複数の異なる孔隙率を有する複数の異なるNPR構造を作製可能である。これらのNPR構造は、従来の構造よりも応力が小さくて疲労寿命が長く、より高い剛性およびより優れた耐荷重能力を有するように、さらに調整可能である。

10

【0038】

本発明は、タービン構成要素、熱交換器、管類、支持体、機体、自動車または車両構成要素、または機械的および／もしくは熱的荷重に曝されるその他任意の構造もしくは構成要素等、熱機械膨張および孔隙率（または、孔隙の不存在）が重視される広範な産業上の構成要素に使用可能であるが、これらに限定されない。一例として、同じ種類のシート（たとえば、アスペクト比が30に等しい楕円開口）が図2に示す技術によって取り付けられている場合は、2層構造の孔隙率がゼロに低下することに留意されたい。このため、非多孔質NPR構造の場合であっても、本概念を利用して、複数の均一な単層構造から所望のNPR構造を作成可能であり、都合が良い。

20

【0039】

鋼板またはInconel等のシートは、CNCレーザ切断等の従来の形成プロセス（たとえば、打ち抜き、直線または湾曲切断、穿孔、鋸切断、ガス切断、ウォータージェット加工等）を用いて個別に作成した後、相互の溶接またはリベットによって、必要な接続を作成可能である。

【0040】

本発明は、本明細書に開示の厳密な構造および構成に限定されない。むしろ、上記説明から明らかなありとあらゆる変形、変更、および改良は、添付の特許請求の範囲に規定する本発明の範囲および主旨に含まれる。さらに、本概念は、前述の要素および態様のありとあらゆる組み合わせおよび部分的組み合わせを明示的に含む。

30

【図1】

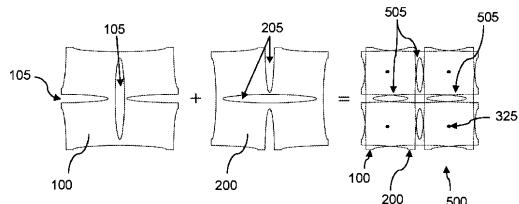


FIG. 1

【図3】

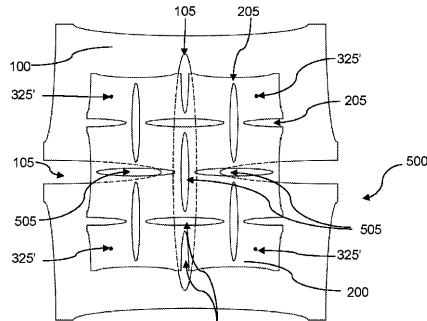


FIG. 3

【図2】

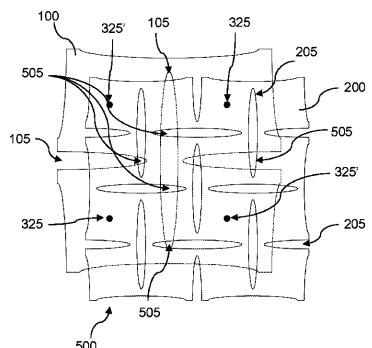


FIG. 2

【図4】

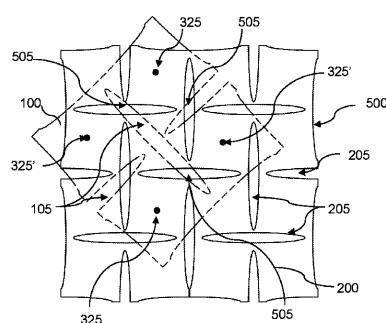


FIG. 4

【図5】

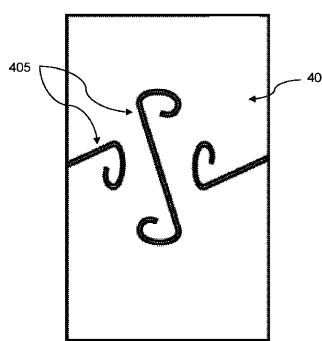
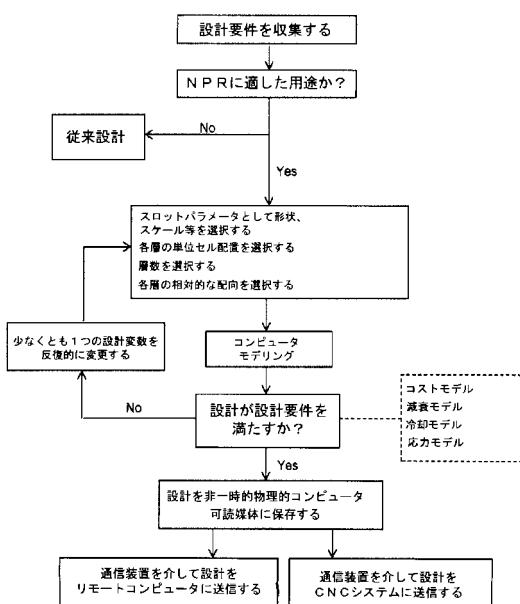


FIG. 5

【図6】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US2016/012766
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(B) - B32B 3/26 (2016.01) CPC - B32B 3/266 (2016.02) According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC(B) - B32B 3/10, 3/12, 3/24, 3/26, 5/18, 7/04 (2016.01) CPC - B32B 3/10, 3/12, 3/26, 3/266, 5/16; C08J 5/18 (2016.02)		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched USPC - 80/752; 428/131, 133, 134, 136, 137, 218, 292.1 (keyword delimited)		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) Orbit, Google Patents, Google Scholar, Google Search terms used: auxetic, structure, first, second, sheet, pattern, elongated, openings, aspect, ratio, unit, cell, connection, porosity, void, overlays, negative, poisson, ratio, layer, rows		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2014/0260281 A1 (ROLLS-ROYCE CANADA, LTD.) 18 September 2014 (18.09.2014) entire document	1-22
A	US 2011/0059291 A1 (BOYCE et al) 10 March 2011 (10.03.2011) entire document	1-22
A	US 8,652,602 B1 (DOLLA) 18 February 2014 (16.02.2014) entire document	1-22
A	US 2011/0159758 A1 (MARTIN) 30 June 2011 (30.06.2011) entire document	1-22
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 05 March 2016	Date of mailing of the international search report 28 MAR 2016	
Name and mailing address of the ISA/ Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 Facsimile No. 571-273-8300	Authorized officer Blaine R. Copenheaver PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774	

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,R0,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,D0,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JP,KE,KG,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US

(71)出願人 517243002

ファム ミン クアン
カナダ ケベック サン - ローラン アベニュー サン - クロワ 630 アパートメント 41
6

(71)出願人 517243024

シェーンザー メーガン
カナダ ケベック モントリオール ル オンタリオ イースト 1253 アパートメント 2

(71)出願人 517243035

シャニアン アリ
カナダ ケベック モントリオール プリンス アルチュール 350 アパートメント 151
0

(74)代理人 110001210

特許業務法人Y K I 国際特許事務所

(72)発明者 イネス マッシュュー クリストファー

カナダ オンタリオ ノース ランカスター バターナッツ レーン 21430 ルーラル ロード 1

(72)発明者 ファム ミン クアン

カナダ ケベック サン - ローラン アベニュー サン - クロワ 630 アパートメント 41
6

(72)発明者 シェーンザー メーガン

カナダ ケベック モントリオール ル オンタリオ イースト 1253 アパートメント 2

(72)発明者 シャニアン アリ

カナダ ケベック モントリオール プリンス アルチュール 350 アパートメント 151
0

(72)発明者 ジャヴィド ファルハード

アメリカ合衆国 マサチューセッツ サマービル コンコード アベニュー 45 アパートメント 1

(72)発明者 ベルトルディ カティア

アメリカ合衆国 マサチューセッツ サマービル ホートン ストリート 47 2

(72)発明者 テイラー マイケル ジェームズ

アメリカ合衆国 マサチューセッツ メドフォード ブルッキングス ストリート 79

F ターム(参考) 4F100 AB03 BA02 BA21B DC11A DC11B DC12A DC12B DC12C DC12D DC12E

EC12 EC15 GB51 JA02