

(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2018-510319  
(P2018-510319A)

(43) 公表日 平成30年4月12日(2018.4.12)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
<b>F23R 3/42</b> (2006.01)	F 23 R 3/42	E 4 F 1 O O
<b>F02C 7/00</b> (2006.01)	F 02 C 7/00	C
<b>F01D 25/00</b> (2006.01)	F 01 D 25/00	L
<b>B32B 3/26</b> (2006.01)	B 32 B 3/26	Z

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2017-555431 (P2017-555431)
(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6日 (2017.9.6)
(86) 國際出願番号	PCT/US2016/012767
(87) 國際公開番号	W02016/112366
(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	62/101,832
(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	62/118,833
(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)

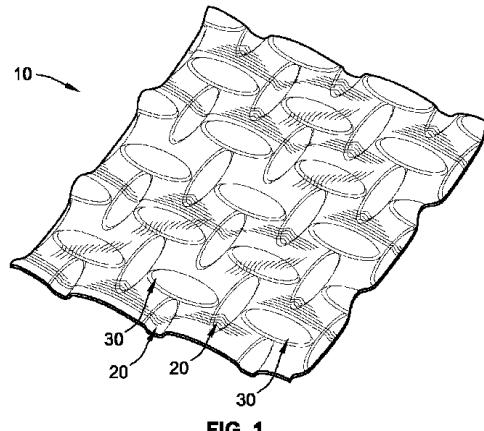
(71) 出願人	507044516 プレジデント アンド フェローズ オブ ハーバード カレッジ アメリカ合衆国 マサチューセッツ 02 138, ケンブリッジ, クインシー ストリート 17
(71) 出願人	517242991 イネス マッシャー クリストファー カナダ オンタリオ ノース ランカスター バターナツ レーン 21430 ルーラル ロード #1

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】負のポアソン比のワッフル状構造体

## (57) 【要約】

少なくとも一部の態様では、オーゼティック構造体が、それ自体から突出する複数の構造要素をそれ自体において定める第1のシートであって、複数の構造要素は負のポアソン比を提供するために配置される、第1のシートと、第1のシートとの間に第1の内部空所を定めるために前記第1のシートと隣接して配置される第2のシートを備える。なおも他の態様では、1つ以上の追加のシートが、オーゼティック特性を有する多層構造体を提供するために有利に設けられ得る。



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

それ自体から突出する複数の構造要素をそれ自体において定める第1のシートであって、前記複数の構造要素は負のポアソン比を提供するために配置される、第1のシートと、前記第1のシートとの間に第1の内部空所を定めるために前記第1のシートと隣接して配置される第2のシートと

を備えることを特徴とするオーゼティック構造体。

**【請求項 2】**

請求項1に記載のオーゼティック構造体であって、前記第2のシートは少なくとも実質的に平坦であることを特徴とするオーゼティック構造体。

10

**【請求項 3】**

請求項1に記載のオーゼティック構造体であって、前記第2のシートは、前記第2のシートから突出する複数の構造要素を定め、前記複数の構造要素は負のポアソン比を提供するために配置されることを特徴とするオーゼティック構造体。

**【請求項 4】**

請求項3に記載のオーゼティック構造体であって、前記第1のシートの前記複数の構造要素は橜円キャップを備えることを特徴とするオーゼティック構造体。

**【請求項 5】**

請求項4に記載のオーゼティック構造体であって、前記第2のシートの前記複数の構造要素は橜円キャップを備えることを特徴とするオーゼティック構造体。

20

**【請求項 6】**

請求項4に記載のオーゼティック構造体であって、前記第1のシートの前記複数の構造要素は、互いと直角に配置される隣接する構造要素の主軸との配向において交互になるように配置されることを特徴とするオーゼティック構造体。

**【請求項 7】**

請求項5に記載のオーゼティック構造体であって、前記第2のシートの前記複数の構造要素は、互いと直角に配置される隣接する構造要素の主軸との配向において交互になるように配置されることを特徴とするオーゼティック構造体。

**【請求項 8】**

請求項5に記載のオーゼティック構造体であって、前記第1のシートの前記複数の構造要素は、互いと直角に配置される隣接する構造要素の主軸との配向において交互になるように配置され、

前記第2のシートの前記複数の構造要素は、互いと直角に配置される隣接する構造要素の主軸との配向において交互になるように配置されることを特徴とするオーゼティック構造体。

30

**【請求項 9】**

請求項8に記載のオーゼティック構造体であって、前記第1のシートの前記複数の構造要素は、前記第2のシートの前記複数の構造要素のうちの対応するものと整列されることを特徴とするオーゼティック構造体。

**【請求項 10】**

請求項1から9のいずれか1項に記載のオーゼティック構造体であって、前記第1のシートおよび前記第2のシートは金属シートを各々備えることを特徴とするオーゼティック構造体。

40

**【請求項 11】**

請求項2に記載のオーゼティック構造体であって、前記第2のシートとの間に第2の内部空所を定めるために前記第2のシートと隣接して配置される第3のシートをさらに備えることを特徴とするオーゼティック構造体。

**【請求項 12】**

請求項3から9のいずれか1項に記載のオーゼティック構造体であって、前記第2のシートとの間に第2の内部空所を定めるために前記第2のシートと隣接して

50

配置される第3のシートをさらに備えることを特徴とするオーゼティック構造体。

【請求項13】

請求項11に記載のオーゼティック構造体であって、前記第2のシートは、前記第1の内部空所と前記第2の内部空所との間の流れを許容するために、それ自体において複数の開口を備えることを特徴とするオーゼティック構造体。

【請求項14】

それ自体から突出する複数の構造要素をそれ自体において定める第1のシートであって、前記複数の構造要素は負のポアソン比を提供するために配置される、第1のシートと、第2のシートと、  
第3のシートと  
を備え、

前記第2のシートは、前記第1のシートとの間に第1の内部空所を定めるために、および、前記第3のシートとの間に第2の内部空所を定めるために、前記第1のシートと前記第3のシートとの間に配置され、

前記第2のシートおよび前記第3のシートの少なくとも一方は複数の構造要素を備え、前記複数の構造要素は負のポアソン比を提供するために配置されることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

【請求項15】

請求項14に記載の多層オーゼティック構造体であって、前記第1のシートの前記複数の構造要素は橜円キャップを備えることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

【請求項16】

請求項14に記載の多層オーゼティック構造体であって、前記第2のシートおよび前記第3のシートの前記少なくとも一方の前記複数の構造要素は橜円キャップを備えることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

【請求項17】

請求項14に記載の多層オーゼティック構造体であって、前記第2のシートおよび前記第3のシートの前記少なくとも一方の前記複数の構造要素は開口を備えることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

【請求項18】

請求項14に記載の多層オーゼティック構造体であって、前記第2のシートおよび前記第3のシートの各々は複数の構造要素を備え、前記複数の構造要素は負のポアソン比を提供するために配置されることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

【請求項19】

請求項18に記載の多層オーゼティック構造体であって、前記第2のシートの前記複数の構造要素は開口を備えることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

【請求項20】

請求項15に記載の多層オーゼティック構造体であって、前記第1のシートの前記複数の構造要素は、互いと直角に配置される隣接する構造要素の主軸との配向において交互になるように配置されることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

【請求項21】

請求項16に記載の多層オーゼティック構造体であって、前記第2のシートおよび前記第3のシートの前記少なくとも一方の前記複数の構造要素は、互いと直角に配置される隣接する構造要素の主軸との配向において交互になるように配置されることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

【請求項22】

請求項16に記載の多層オーゼティック構造体であって、前記第1のシートの前記複数の構造要素は、互いと直角に配置される隣接する構造要素の主軸との配向において交互になるように配置され、

前記第2のシートおよび前記第3のシートの前記少なくとも一方の前記複数の構造要素は、互いと直角に配置される隣接する構造要素の主軸との配向において交互になるように

10

20

30

40

50

配置されることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

【請求項 2 3】

請求項 1 6 に記載の多層オーゼティック構造体であって、

前記第 1 のシートの前記複数の構造要素は、前記第 2 のシートおよび前記第 3 のシートの少なくとも一方の前記複数の構造要素のうちの対応するものと整列されることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

【請求項 2 4】

請求項 1 4 から 2 3 のいずれか 1 項に記載の多層オーゼティック構造体であって、

前記第 1 のシート、前記第 2 のシート、および前記第 3 のシートは金属シートを各々備えることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

10

【請求項 2 5】

第 1 のシートと、

第 2 のシートと、

第 3 のシートと

を備え、

前記第 2 のシートは、前記第 1 のシートとの間に第 1 の内部空所を定めるために、および、前記第 3 のシートとの間に第 2 の内部空所を定めるために、前記第 1 のシートと前記第 3 のシートとの間に配置され、

前記第 1 のシート、前記第 2 のシート、または前記第 3 のシートの少なくとも 1 つは、負のポアソン比をそれ自体において生成するために成形されて配置される複数の構造要素を備えることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

20

【請求項 2 6】

請求項 2 5 に記載の多層オーゼティック構造体であって、前記第 1 のシート、前記第 2 のシート、または前記第 3 のシートの少なくとも 1 つの前記複数の構造要素は橜円キャップを備えることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

【請求項 2 7】

請求項 2 6 に記載の多層オーゼティック構造体であって、複数の群の前記複数の構造要素は、前記第 1 のシート、前記第 2 のシート、および前記第 3 のシートから選択されることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

30

【請求項 2 8】

請求項 2 5 に記載の多層オーゼティック構造体であって、前記複数の構造要素は、前記第 1 のシート、前記第 2 のシート、または前記第 3 のシートの少なくとも 1 つにおいて開口を備えることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

【請求項 2 9】

請求項 2 5 に記載の多層オーゼティック構造体であって、前記複数の構造要素は、前記第 1 のシート、前記第 2 のシート、および前記第 3 のシートから選択される複数の群において開口を備えることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

【請求項 3 0】

請求項 2 5 に記載の多層オーゼティック構造体であって、複数の前記第 1 のシート、前記第 2 のシート、または前記第 3 のシートが、負のポアソン比をそれ自体において生成するために成形されて配置される複数の構造要素を備えることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

40

【請求項 3 1】

請求項 2 5 に記載の多層オーゼティック構造体であって、前記第 1 のシート、前記第 2 のシート、または前記第 3 のシートの前記少なくとも 1 つの前記複数の構造要素は、互いと直角に配置される隣接する構造要素の主軸との配向において交互になるように配置されることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

【請求項 3 2】

請求項 2 8 または 2 9 に記載の多層オーゼティック構造体であって、前記開口は S 字スロットを備えることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

50

**【請求項 3 3】**

請求項 2 5 から 3 1 のいずれか 1 項に記載の多層オーゼティック構造体であって、前記第 1 のシート、前記第 2 のシート、および前記第 3 のシートは金属シートを各々備えることを特徴とする多層オーゼティック構造体。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0 0 0 1】**

本開示は、概して、1つ以上の非多孔性のオーゼティック (auxetic) 層を備える非多孔性のオーゼティック構造体と、このような構造体を備えるシステムとに関する。

10

**【背景技術】****【0 0 0 2】****関連出願の相互参照**

本出願は、2015年2月20日に出願された米国仮特許出願第 62/118,833 号と、2015年1月9日に出願された米国仮特許出願第 62/101,832 号とへの優先権を主張し、それら仮特許出願の両方は、それらのそれぞれ全体において本願に引用して援用する。

20

**【0 0 0 3】**

材料が特定の軸に沿って圧縮されるとき、材料は、最も一般的には、加えられる軸荷重に対して横断する方向に、拡張するように観察される。反対に、ほとんどの材料は、引張荷重が特定の軸に対して横断する軸に沿って加えられるとき、その特定の軸に沿って収縮する。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、ポアソン比は、軸方向の荷重条件の下での軸方向 / 長手方向の歪みに対する横断方向 / 橫方向の歪みの比のマイナスとして定義できる。大部分の材料は、正のポアソン比（例えば、アルミニウム、黄銅、および鋼鉄については約 0.3）で特徴付けられ、軸方向で圧縮されるときに横断方向で拡張し、軸方向で伸長されるときに横断方向で収縮する。他方で、「オーゼティック」の材料としても知られる、負のポアソン比（NPR : Negative Poisson's Ratio）を伴う材料は、軸方向で圧縮されるときに横断方向で収縮し、軸方向で伸長されるときに横断方向で拡張する。

20

**【0 0 0 4】**

フィリップ D. ナポリ (Philip D. Napoli) の特許文献 1 は、高温用途において利用される燃焼器ライナといった工学的構造部材の例を示している。燃焼器ライナは、概して、ガスタービンの燃焼セクションにおいて使用される。燃焼器ライナは、排気セクションにおいて、または、タービン翼など、ガスタービンの他のセクションまたは構成部品において使用されてもよい。動作中、燃焼器は、華氏 3,000 度まで、および、華氏 3,000 度を上回る、極めて高い温度でガスを燃焼する。この強烈な熱がタービンへと出ていく前に燃焼器を損傷するのを防止するために、燃焼器ライナが、周囲のエンジンを断熱するために、燃焼器内部に設けられる。燃焼器ライナの厚さ方向の温度差および圧力差を最小にするために、冷却スロットが、「828 特許に見られるものなど、従来から設けられている。特許文献 1 は、ライナの壁を通じて斜めにされ、連続するパターンで配置されている離間された孔を有する環状燃焼器ライナの一部を示している。ジェームス ページ ストロール (James Page Stroh) らの特許文献 2 は、ガスタービンの所望の領域の冷却を高めるために、および、冷却孔とその周りとにおける応力レベルを低減するために成形された冷却孔を有する工学的構造部材の他の例を示している。ヤコブ ケラー博士 (Dr. Jakob Keller) の特許文献 3 は、ガスタービンの燃焼領域で使用される穿孔ライナの他の例を示している。

40

**【0 0 0 5】**

なお他の例では、マリー C. ボイス (Mary C. Boyce) らの特許文 4 は、重大な巨視的な応力または歪みの適用において構造配置に変形を受けるエラストマまたは弾塑性の周期的な固体を含むいくつかの変形性周期構造を開示している。ハーバード大学の総長およびフェローの特許文献 5 は、特に、負のポアソン比の挙動を提供する繰り返

50

しの細長い開口のパターンを伴う空隙構造体を開示している。ハーバード大学の総長およびフェローのは、特に、固体（正のポアソン比を有する）への応力の適用において、固体に疑似的なオーゼティック（N P R）挙動を呈させる工学的空隙構造体を有する固体を開示している。工学的空隙構造体は、例えば、ガスター・ビン燃焼器を伴う用途に適している程度または割合まで多孔性である。前述の特許文献のすべてが、すべての目的に対して、それらのそれぞれ全体において本願に引用して援用する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】米国特許第5,233,828号明細書

10

【特許文献2】米国特許第8,066,482号明細書

【特許文献3】欧州特許0971171号明細書

【特許文献4】米国特許出願公開第2010/0009120号明細書

【特許文献5】PCT/US2014/025324号明細書

【特許文献6】PCT/US2014/024830号明細書

【特許文献7】国際公開2014/151045号パンフレット

【特許文献8】米国特許出願公開第2011/0059291号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本開示の態様は、概して、非多孔性のオーゼティック構造体およびシステムを対象とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0008】

少なくとも一部の態様では、オーゼティック構造体は、それ自体から突出する複数の構造要素をそれ自体において定める第1のシートであって、複数の構造要素は負のポアソン比を提供するために配置される、第1のシートと、第1のシートとの間に第1の内部空所を定めるために前記第1のシートと隣接して配置される第2のシートを備える。

【0009】

本概念の一部の態様によれば、多層オーゼティック構造体が、それ自体から突出する複数の構造要素をそれ自体において定める第1のシートであって、複数の構造要素は負のポアソン比を提供するために配置される、第1のシートと、第2のシートと、第3のシートとを備え、第2のシートは、第1のシートとの間に第1の内部空所を定めるために、および、第3のシートとの間に第2の内部空所を定めるために、第1のシートと第3のシートとの間に配置され、第2のシートおよび第3のシートの少なくとも一方は複数の構造要素を備え、複数の構造要素は負のポアソン比を提供するために配置される。

30

【0010】

本概念の他の態様によれば、多層オーゼティック構造体が、第1のシートと、第2のシートと、第3のシートとを備え、第2のシートは、第1のシートとの間に第1の内部空所を定めるために、および、第3のシートとの間に第2の内部空所を定めるために、第1のシートと第3のシートとの間に配置され、第1のシート、第2のシート、または第3のシートの少なくとも1つは、負のポアソン比をそれ自体において生成するために成形されて配置される複数の構造要素を備える。

40

【0011】

上記の概要は、本開示のあらゆる実施形態またはあらゆる態様を表すように意図されていない。むしろ、前述の概要は、本明細書で明記されている新規の態様および特徴の一部の例示を提供しているだけである。本開示の上記の特徴および利点と、他の特徴および利点とは、添付の図面および添付の請求項との関連で解釈されるとき、本発明を実行するための代表的な実施形態および様態の以下の詳細な記載から容易に明らかとなる。

【図面の簡単な説明】

50

## 【0012】

【図1】本概念の少なくとも一部の態様により利用された非多孔性のオーゼティックシートの図である。

【図2】本概念の少なくとも一部の態様による、平坦なシートに隣接して配置された、図1に示したものなどのオーゼティックシートを備える複合「ワッフル状」構造体を示す図である。

【図3】本概念の少なくとも一部の態様による、互いに隣接して配置された、図1に示したものなどの2つの相対するオーゼティックシートを備える複合「ワッフル状」構造体の等角図である。

【図4】図3の複合「ワッフル状」構造体の側面図を示す図である。

10

【図5】本概念の少なくとも一部の態様による、2つのオーゼティックシートの間に配置された平坦なシートを備える多層複合「ワッフル状」構造体の第1の例の図である。

【図6】本概念の少なくとも一部の態様による、3つの重ねられたオーゼティックシートを備える多層複合「ワッフル状」構造体の第2の例の図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0013】

本開示は、様々な変更および代替の形態が可能であり、一部の代表的な実施形態が、例として図面に示されており、本明細書で詳細に記載されることになる。しかしながら、本発明の態様は、図面に示した特定の形態に限定されない。むしろ、本開示は、添付の請求項によって定義されているような本発明の精神および範囲内にあるすべての変更、均等、組み合わせ、および代替を網羅するものである。

20

## 【0014】

本概念は、それらの全体において本願に引用して援用する特許文献7および特許文献8において例として開示されているものなど、オーゼティック構造体の文脈で理解されるものである。

## 【0015】

本開示は、多くの異なる形態での実施形態が可能である。本開示が、本開示の原理の例示として解釈され、本開示の幅広い態様を図示した実施形態に限定するよう意図されていないという理解の下、代表的な実施形態が、図面において示されており、本明細書において詳細に説明される。その程度まで、例えば、請求項において明確に記述されていないが、要約、発明の概要、および発明を実施するための形態のセクションで開示されている要素および限定は、含意、推論、または他の方法によって、単一的または集約的に、請求項に組み込まれるべきではない。ここでの詳細な記載の目的のために、明確に請求権が放棄されない場合、または、論理的に差し止められない場合、単数形は複数形を含み、逆も然りであり、「含む」、「備える」、および「有する」という用語はオープンエンド形式とされる。さらに、「約」、「ほとんど」、「実質的に」、「およそ」などの近似の言葉は、本明細書では、「～において、～の近くで、もしくは、～の近くにおいて」、「～の3～5%内で」、「許容可能な製造公差内で」、またはそれらの任意の論理的な組み合わせで、使用可能である。

30

## 【0016】

本開示の態様は、巨視的に荷重が掛けられるとき、負のポアソン比（NPR）を提供する繰り返しの開口および突出を含むハイブリッド窪み／空隙のオーゼティック構造体を対象とする。ポアソン比は、概して、伸長された物体における長手方向で拡がる歪みに対する横断方向での収縮の歪みの比として象徴される。ポアソン比は、典型的には、多くの金属、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ついて正であり、伸長されるときに断面が薄くなる。本明細書で開示されているオーゼティック構造体は、負のポアソン比の挙動を呈する。

40

## 【0017】

開示した概念の態様によれば、オーゼティック構造体が1つの軸に沿って圧縮されるとき（例えば、Y方向において）、同じ軸の歪みは、隣接する開口が配置される方法のため

50

、各々のセルの中心の周りにモーメントをもたらす。これはさらに、セルを回転させる。各々のセルは、その直接隣接するセルと反対の方向で回転する。この回転は、水平方向で隣接するセル同士の間で、横断方向の軸（X方向）の距離において縮小をもたらす。別の言い方をすれば、Y方向において構造体を圧縮すると、構造体をX方向において収縮させる。反対に、Y方向における引っ張りは、X方向における拡張をもたらす。構造体全体の規模では、これは、オーゼティック材料の挙動に似ている。しかし、本明細書で開示している構造体の多くは、従来の材料から成る。したがって、混じり物のない材料自体は正のポアソン比を有し得るが、本明細書で開示した開口パターンおよび組み合わせの導入を伴う構造体を変更することで、構造体は、局所的および／または全体的に、負のポアソン比を有するとして振る舞える。

10

#### 【0018】

例えば、すべての目的に対して、それらのそれぞれ全体において本願に引用して援用する特許文献7および特許文献8号に記載されているものといった、開示されているNPR構造体の種類に反して、本明細書に開示されているNPR構造体は、多孔性ではない。

#### 【0019】

図1は、第1の方向に（例えば、シートの平面に対して垂直に、など）構造の平面を出していくように構成される第1の複数の構造要素20（例えば、「窪み」）と、第2の方向に（例えば、シートの平面に対して第1の方向とは反対の方向に垂直に、など）において構造の平面を出していくように構成される第2の複数の構造要素30とでパターン化された構造体10（例えば、シート材料など）の等角図を示している。図示しているように、第1の複数の構造要素20は、シートの平面に対して垂直の第1の方向に構造の平面を出していく凸状構造体を備えてもよく、第2の複数の構造要素30は、シートの平面に対して垂直の第2の方向（つまり、第1の方向の反対）に構造の平面を出していくように構成される凸状構造体を備え得る。

20

#### 【0020】

様々な態様において、構造体10は、限定されることはないが、ガスタービン燃焼器ライナ、熱交換器要素、またはボイラなどの特定の用途にとって適しているような、金属、アルミニウム、鋼鉄、および／または合金を含む。例として、高温の用途において、適切な材料は、限定されることはないが、ニッケルに基づく超合金（例えば、Inconel（例えば、IN100、IN600、IN713）、Waspaloy、René合金（例えば、René41、René80、René95、RenéN5）、Haynes合金、Incoloy、MP98T、TMS合金、およびCMSX（例えば、CMSX-4）単結晶合金など）など、「超合金」を含み得る。

30

#### 【0021】

構造要素20、30は、構造体の平面に沿って作用する応力に応答して、基になる構造体10を、正のポアソン比（PPR）から負のポアソン比（NPR）へと変換する。図1に示しているように、第1の構造要素20および第2の構造要素30の主軸は、互いに対して直角であるように示されており、第1の構造要素20および第2の構造要素30は、交互になる関係で配置されている。この配置は非限定的であり、本概念は、負のポアソン比（NPR）を提供する、本明細書に開示しているような、1つまたは複数の構造要素の任意のタイル状の配置を明確に含んでいる。

40

#### 【0022】

図1に示した例では、構造要素20、30は、図示の目的のための任意に選択された断面、深さ、および平面から出る輪郭で示されており、これらのパラメータは、本概念の様々な態様により異なってもよい。具体的には、図示した例は、構造要素20、30における一様性を示しているが、本概念は、シートまたは構造体10の一方の側または両側から突出する異なる構造要素（例えば、回転橜円体または橜円キャップ）の利用を明確に含む。構造要素は、例えば、全体的に橜円の構造要素や、球状キャップの構造要素と橜円の構造要素との組み合わせなどの異なる構造要素の組み合わせを備えてもよい。これらの構造要素のいずれについても、構造要素は、設計変数の中でも、深さ、縦横比、および傾斜の

50

険しさにおいて、異なってもよい。

【0023】

しかしながら、構造要素20、30は、例示の図に示したものと異なる形を備えてもよく、必ずしも互いに寸法的に同様である必要はない（例えば、構造要素20の形は、構造要素30の形と異なってもよい）。さらに、構造要素20、30の配置は、図示したようになっている必要はなく、配置は、示したものと異なってもよい（例えば、構造要素20、30の間のより大きい間隔、または、構造要素20、30の間の異なる角度関係）。タイル状のパターンは、全体的なNPR拳動を必ず提供するために要求されることはなく、代わりに、構造体の変位場における縮小または拡張の特別なパターンを有利に提供するためになど、局所的なNPR拳動を提供するために構成されてもよい。楕円の「窪み」として示された構造要素20、30は、楕円構造体に制限されることはなく（例えば、球状キャップを備え得る）、特徴の中でも、深さ、縦横比、および傾斜の険しさにおいて、異なってもよい。したがって、断面、深さ、および／または平面から出る構造要素20、30の輪郭は、本概念により大幅に異なってもよい。

10

【0024】

少なくとも一部の態様では、構造要素20、30を担持する構造体10は、薄い壁または薄い外殻の構造体であり、材料の厚さは、横方向寸法の約10分の1未満であり、このような相対的な寸法は、NPR拳動の実現を容易にする。また、少なくとも一部の態様では、構造要素（例えば、球状キャップ）断面の半径または楕円要素の短軸の半分は、NPR拳動の実現を容易にするために、構造体厚さの約10倍未満である。なおもさらには、少なくとも一部の態様では、構造要素20、30の断面積は、NPR拳動の実現を容易にするために、構造体10の大きい領域（例えば、約40%超、約50%超など）を覆っている。球状構造要素（例えば、球状キャップ）が設けられる場合、一部の態様では、球状構造要素の深さは、NPR拳動の実現を容易にするように、球状構造要素の半径の約半分である。

20

【0025】

先に記載したように、構造要素20、30は、様々な形（所与の材料についての複数の形または材料の副次的部分を含む）を取ることができ、材料または材料の副次的部分に所望の機械的特性を与えるために最適化され得る。少なくとも一部の態様では、構造要素20、30の輪郭は、以下の関数によって定義される。

30

【数1】

$$z = f(x, y) = \exp \left( \delta \left[ 1 - \frac{1}{1 - \left| \frac{x}{a} \right|^{\alpha} - \left| \frac{y}{b} \right|^{\beta}} \right] \right)$$

以下のような制限がある。

【数2】

$$\left| \frac{x}{a} \right|^{\alpha} + \left| \frac{y}{b} \right|^{\beta} < 1$$

40

【0026】

生成された構造要素は、次に、NPRと、その用途のために適切な他の特徴（例えば、熱伝達表面積など）との両方を提供する構造要素を達成するために、構造体（例えば、金属シートなど）においてタイル状にされる。上記の提示された関数では、aおよびbは、 $f(x, y) = 0$ の平面における楕円体の縦横比を制御し、 $\delta$ は、構造要素20、30の（例えば、窪みの）最大深さを示し、 $\alpha$ 、 $\beta$ は、平面から出る曲率を変化させる。

【0027】

構造要素のための疑似多孔性は、組み合わされた構造要素の断面積（ $A_{SE}$ ）と、全体の構造の面積（ $A_S$ ）との間の比として定義され得る（つまり、疑似多孔性 =  $A_{SE} / A_S$ ）。

50

局所的な領域（例えば、単位セル）では、疑似多孔性は、構造要素20、30の一方の面積と、それを包囲する仮想的な幾何学的要素（例えば、矩形または正方形）の面積との間の比として理解され得る。

#### 【0028】

構造体10によって提供される1つの利点は、ゼロ多孔性と、特には局所的および／または全体的なNPR挙動のおかけで、変位の制御された荷重の下で呈される小さい応力値とである。開示されたNPR構造体は、非多孔性であり、流体の通過を許容しないため、限定されることは無いが、機械的および／または熱的な負荷を受けるタービン構成部品、熱交換器、ボイラ、または任意の他の構造体または構成部品など、多孔性が不利となる任意の構造体において、利用に向けて優れた候補を提示する。

10

#### 【0029】

図2～図4における構造体10または構造体100にわたる構造要素20、30の形および／または分布は、異なる挙動が構造体の異なるセクションにおいて必要とされる複雑な構造体および／または用途のための最適化を受け入れるためになど、所望の局所的なオーゼティック挙動を提供するために変更され得る。例えば、特定の構造体100（例えば、ガスタービン燃焼器ライナなど）は、構造要素20、30の第1の配置（例えば、形、深さなど）を有する第1の部分と、構造要素20、30の第2の配置を有する第2の部分と、構造要素20、30の第3の配置を有する第3の部分とを備え得る。概して、構造体10、100は、変位の制御されている場合に、非常に小さい応力値を示し、比較的大きい構造的剛性を明らかにすることで、構造体10、100を、荷重の制御された荷重条件と変位の制御された荷重条件との両方での使用に向けて、非常に優れた候補にさせている。

20

#### 【0030】

具体的には、図における構造体100は、相対する構造体10、200（図2）と10、10'（図3～図4）との間に空間または内部空所250を定めている。この空間250は、冷却を高めることが冷却流体を空間に通して流すことで達成され得るボイラまたは熱交換器などの用途における使用にとって、特に有利である。しかしながら、本概念は、加熱流体が空間250を通じて流れる構造体100および用途へと同じように広がることは、留意されるものである。構造体100にわたる熱伝達の効果は、構造体10の表面積を増加するために、構造要素20、30の利用によってさらに高められる。さらに、図3～図4の構成で描写した構造要素20、20'、30、および30'の起伏のある構造体は、構造体100全体の表面積を最大にし、結果として、構造体100からの熱伝達と構造体100にわたる熱伝達とを最大にする。

30

#### 【0031】

さらに、開示されている構造体100は、3つ以上の層、または、例として、図5～図6に表示されているものなど、3つ、4つ、または5つ以上の層を備える多層構造体を形成する構造体10、10'、200を備えてもよい。図5は、本概念の少なくとも一部の態様による、2つのオーゼティックシート10、10'の間に配置された平坦なシート200を備える多層複合構造体100の例を示している。図6は、本概念の少なくとも一部の態様による、3つの重ねられたオーゼティックシート10、10'、10"を備える多層複合構造体100の例を示している。

40

#### 【0032】

図2～図6の例における構造体100は、単純に、2つのまたはより多い（例えば、3つ、4つ、5つなど）層またはシートを備える多層構造体として、より幅広く定義される。多層構造体100は、すべての目的に対して、それらのそれぞれ全体において本願に引用して援用する特許文献7および特許文献8に記載されているものなど、1つ以上の非多孔性構造体10、10'、200と、任意選択での1つ以上の多孔性構造体（つまり、空隙または貫通孔をそれ自体に有する構造体）との組み合わせから形成される。したがって、本概念の少なくとも一部の態様によれば、多層構造体100は、構造上の性能と冷却性能との所望の組み合わせを達成するために、1つ以上の空間250、250'を間に定め

50

る平面のシート（例えば、図2における構造体200を参照）、パターン化されたシート（例えば、図2におけるパターン化された構造体10を参照）、および／または空隙のパターン化されたシートの組み合わせから形成される。

#### 【0033】

図2～図6に表示された構造体100では、構造要素20、30（および20'、30'）は乱流を増大させ、熱伝達率を高め、内部冷却（または加熱）が構成部品温度を調節することが必要とされる場合にはいつでも、大きな利点を提供する。また、荷重下における関連する構造体10（および／または10'）においてオーゼティック拳動を与えるような方法での構造要素20、30（および／または20'、30'）の利用は、このような構造体に、熱歪みの下にあるとき、従来の多孔性シートの応力より、小さい応力を呈させる。一例として、図2～図6における構造体100は、燃焼器ライナで利用でき、冷却流体（例えば、空気）が、燃焼器ライナからの熱の除去を高めるために、構造体（例えば、10、10'など）同士の間の空間（例えば、250）で通過させられる。具体的には、燃焼器ライナは、構造要素20、30などを担持する1つ以上の「窪み」のシート（例えば、10、10'）を備える構造体100を利用する場合、構造要素は、増大された表面積を提供し、平坦または実質的に特徴のない構造体の機械的応答性を上回って機械的応答性を高め、失陥なしでより高い火炎温度に耐えることができる構造体100を提供する。

10

#### 【0034】

なお他の例では、図2～図6に開示されているような構造体100は、1つ以上の表面が外部の作動流体と接触しており、任意選択で、内部の作動流体が構造体の空間（例えば、250）を通って循環している状態で、ターピン動翼または静翼で利用される。このような構造体100は、熱伝達を高めるために、および、応力集中部が作られるのを最小とするために、構造要素20、30などを（外部および／または内部に）担持する1つ以上の「窪み」シート（例えば、10、10'）を備える。

20

#### 【0035】

構造体100を形成するために使用されるシートまたは構造体（例えば、10、10'など）は、限定されることはないが、構造要素（例えば、20、20'、30、30'など）を形成するために従来の形成過程（例えば、1回のステップ、または、引き続いての複数のステップでいずれかが実施され得る引き抜き、型打ち、圧搾、圧印、型押しなど）を受ける、具体的な用途にとって適切であるような鋼板またはInconelなど、金属または合金を含み得る。空隙または開口（図示せず）を有するシートまたは構造体について、空隙または開口を形成するための過程は、開口を形成するための従来の形成過程（例えば、打抜き、レーザー切断、パンチレーザー、穿孔、水ジェット切断など）を含み得る。なお他の態様では、構造要素（例えば、20、20'、30、30'、または開口（図示せず）など）は、限定されることはないが、焼流し精密鋳造（ロストワックス鋳造）、ロストフォーム鋳造、砂型鋳造、セラミック鋳型鋳造、ハイブリッドセラミック・砂中子鋳造、フルモールド鋳造、消失模型鋳造などを介して製作され得る。

30

#### 【0036】

一部の態様では、シートまたは構造体（例えば、10、10'など）は、別々のユニットとして形成され、それらが次に構造体100を形成するために整列、組立、および結合される。

40

#### 【0037】

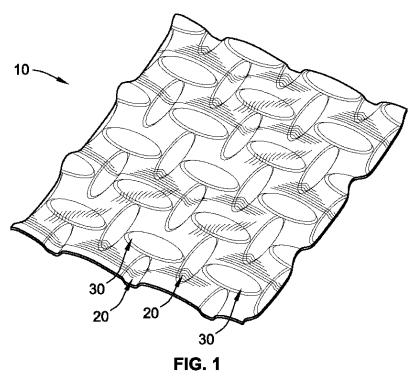
他の態様では、シートまたは構造体（例えば、10、10'など）は一体の全体品として形成される。例として、中空の鋳造の動翼または静翼の構造体100は、それ自体の内部冷却通路において、ここで定めたような構造要素（例えば、窪み20、20'、30、30'、または開口など）を備え、構造体および構成する構造要素は、限定されることはないが、セラミック中子製造過程または他の複雑な鋳造過程など、従来の鋳造過程によって形成される。

#### 【0038】

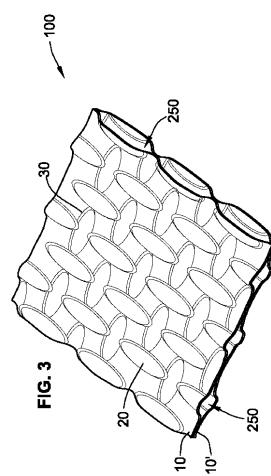
50

本発明は、本明細書で開示した正確な構造および構成に限定されない。むしろ、前述の記載から明らかな任意およびすべての変更、変化、および変形は、添付の請求項に定義されているような本発明の精神および範囲内にある。さらに、本概念は、先の要素および態様の任意およびすべての組み合わせおよび部分組み合わせを含む。

【図 1】



【図 3】



【図 2】

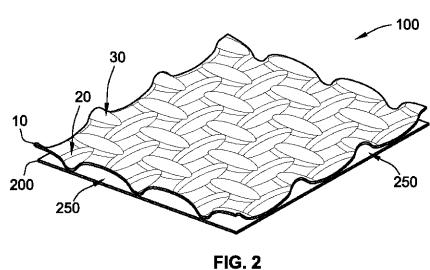


FIG. 2

【 図 4 】

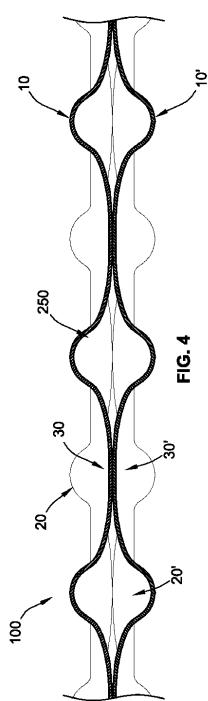


FIG. 4

【 図 5 】

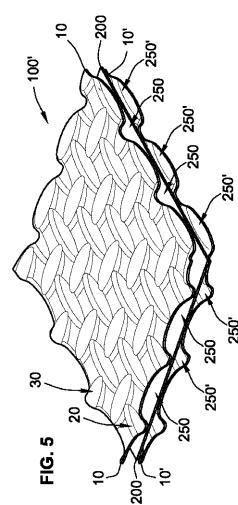


FIG. 4.

【図6】

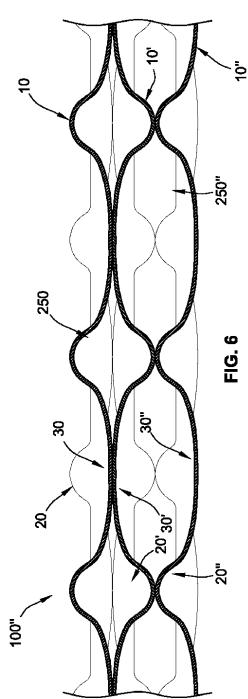


FIG. 6

## 【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US2016/012767
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC(8) - B32B 15/00 (2016.01) CPC - B32B 15/00 (2016.02) According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC(8) - B29C 44/56, 67/20; B32B 3/10, 3/24, 7/02, 15/00; F16S 1/00 (2016.01) CPC - B29C 44/56, 67/20; B31D 3/002; B32B 3/266, 15/00; F23R 3/002; Y10T 428/24273, 428/24314 (2016.02)		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched USPC- 146/563; 257/415; 428/131, 136 (keyword delimited)		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) PatBase, Google Patents, Google, Google Scholar Search terms used: poly layer, composite, auxetic, waffle, negative poisson's ratio, sheet, indentations, dimples, smart structure, NPR materials		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2,738,297 A (PFISTERSHAMMER) 13 March 1956 (13.03.1956) entire document	1-33
Y	US 2014/0260281 A1 (ROLLS-ROYCE CANADA LTD) 18 September 2014 (18.09.2014) entire document	1-33
A	US 2011/0265714 A1 (LEE et al) 03 November 2011 (03.11.2011) entire document	1-33
A	Li et al. Temperature insensitive negative Poisson's ratios in isotropic alloys near a morphotropic phase boundary. Applied Physics Letters. 19 December 2012. [retrieved 2016-02-26]. Retrieved from the Internet. <http://silver.neep.wisc.edu/~lakes/PoissonPhaseAPL12.pdf>. entire document	1-33
A	US 7,896,222 B2 (SHAW et al) 01 March 2011 (01.03.2011) entire document	1-33
<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 01 March 2016	Date of mailing of the international search report <b>16 MAR 2016</b>	
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 <b>Blaine R. Copenheaver</b> 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

F ターム(参考) 4F100 AB01 AB03 AB10 AT00A BA02 BA03 BA04 BA05 BA06 BA07  
BA10B BA10C DD01B DD01C DD12B DD12C DD21 GB51 JJ01 JK15A