

(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2018-508738

(P2018-508738A)

(43) 公表日 平成30年3月29日 (2018.3.29)

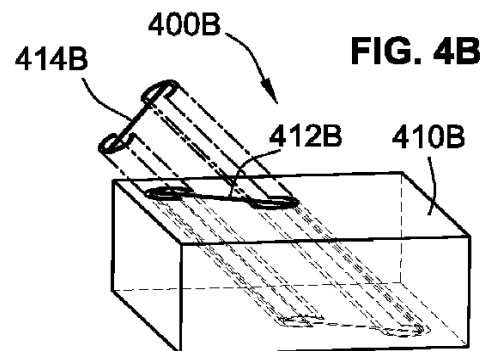
(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>F 2 3 R 3/42 (2006.01)</b>	F 2 3 R 3/42 E	3 G 2 0 2
<b>F 0 2 C 7/00 (2006.01)</b>	F 0 2 C 7/00 C	
<b>F 0 1 D 25/00 (2006.01)</b>	F 0 1 D 25/00 L	
<b>F 0 1 D 5/28 (2006.01)</b>	F 0 1 D 25/00 X	
	F 0 2 C 7/00 D	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 20 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2017-555433 (P2017-555433)	(71) 出願人	507044516
(86) (22) 出願日	平成28年1月9日 (2016.1.9)		プレジデント アンド フェローズ オブ
(85) 翻訳文提出日	平成29年9月8日 (2017.9.8)		ハーバード カレッジ
(86) 国際出願番号	PCT/US2016/012769		アメリカ合衆国 マサチューセッツ 02
(87) 国際公開番号	W02016/112368		138, ケンブリッジ, クインシー
(87) 国際公開日	平成28年7月14日 (2016.7.14)		ストリート 17
(31) 優先権主張番号	62/101,840	(71) 出願人	517243116
(32) 優先日	平成27年1月9日 (2015.1.9)		ブースーモリソン クリストファー
(33) 優先権主張国	米国 (US)		カナダ ケベック オテルビュ パルク
(31) 優先権主張番号	62/118,826		ジェルヴェ アベニュー 172
(32) 優先日	平成27年2月20日 (2015.2.20)	(71) 出願人	517243127
(33) 優先権主張国	米国 (US)		ファーハンギ メヘラーン
			カナダ ケベック モントリオール ソメ
			ルレド アベニュー 6205 アパート
			メント 306
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 特注のNPR挙動および向上された冷却性能のための特別設計されたパターンに位置する傾斜したスロットを有するオーゼティック構造体

## (57) 【要約】

オーゼティック構造体、吹き出し冷却用オーゼティックシート、オーゼティック構造体を伴うシステム及びデバイス、並びにオーゼティック構造体の使用法及び製造法が開示される。背中合わせの上部表面及び底部表面を有する弾性硬質体を含むオーゼティック構造体が開示される。第1及び第2の複数の細長いアパーチャが弾性硬質体を貫いて上部表面から底部表面まで延在する。第1の複数の細長いアパーチャは第2の複数の細長いアパーチャに対して横方向に延在する。第1及び/又は第2の複数の細長いアパーチャは弾性硬質体の上部表面に対して斜めに角度を付けられる。細長いアパーチャは、所望の冷却性能を提供すると共に巨視的で平面的な荷重条件下での負のポアソン比挙動を通じて応力軽減を示すように協調的に構成される。例えばオーゼティック構造体は、概ね30~50 E t aの吹き出し冷却効率と、概ね0.2から0.9%のポアソン比とを示し得る。



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

弾性硬質体であって、互いに背中合わせの上部表面および底部表面、ならびに前記上部表面から前記底部表面まで当該弾性硬質体を貫いて延在する第 1 および第 2 の複数の細長いアパーチャを有し、前記第 1 の複数の細長いアパーチャが、前記第 2 の複数の細長いアパーチャに対して横方向に延在し、少なくとも前記第 1 の複数の細長いアパーチャが、前記弾性硬質体の前記上部表面に対して斜めに角度を付けられている、弾性硬質体、  
を備える、オーゼティック構造体であって、

前記第 1 および第 2 の複数の細長いアパーチャが、所望の冷却性能を提供するとともに巨視的で平面的な荷重条件下での負のボアソン比 (NPR) 挙動を通じて所望の応力性能を示すように協調的に構成されることを特徴とするオーゼティック構造体。

10

**【請求項 2】**

請求項 1 に記載のボイド構造体であって、前記第 1 および第 2 の複数の細長いアパーチャの両方が、前記弾性硬質体の前記上部表面に対して斜めに角度を付けられることを特徴とするボイド構造体。

**【請求項 3】**

請求項 1 に記載のボイド構造体であって、前記第 1 の複数の細長いアパーチャの各アパーチャが、前記弾性的に硬質の本体の前記上部表面に対しておおよそ 40 ~ 70 度の角度を付けられることを特徴とするボイド構造体。

**【請求項 4】**

請求項 1 に記載のボイド構造体であって、前記冷却性能が、おおよそ 30 ~ 50 % の吹き出し冷却効率を含むことを特徴とするボイド構造体。

20

**【請求項 5】**

請求項 1 に記載のボイド構造体であって、前記 NPR 挙動が、約 - 0.2 から約 - 0.9 % のボアソン比を含むことを特徴とするボイド構造体。

**【請求項 6】**

請求項 1 に記載のボイド構造体であって、前記細長いアパーチャが、前記 NPR 挙動を得るために、既定の孔隙率、所定のパターン、もしくは所定のアスペクト比、またはそれらの任意の組合せを伴って特別設計されることを特徴とするボイド構造体。

**【請求項 7】**

請求項 1 に記載のボイド構造体であって、前記細長いアパーチャが、約 0.3 から約 9 % の所定の孔隙率を有することを特徴とするボイド構造体。

30

**【請求項 8】**

請求項 1 に記載のボイド構造体であって、前記細長いアパーチャのそれぞれが、おおよそ 5 ~ 40 のアスペクト比を有することを特徴とするボイド構造体。

**【請求項 9】**

請求項 1 に記載のボイド構造体であって、前記第 1 の複数の細長いアパーチャ、もしくは前記第 2 の複数の細長いアパーチャ、またはその両方が、それぞれ S 字形の平面視断面形状を有することを特徴とするボイド構造体。

**【請求項 10】**

請求項 1 に記載のボイド構造体であって、前記第 1 の複数の細長いアパーチャ、もしくは前記第 2 の複数の細長いアパーチャ、またはその両方が、それぞれ楕円形の平面視断面形状を有することを特徴とするボイド構造体。

40

**【請求項 11】**

請求項 1 に記載のボイド構造体であって、前記第 1 の複数の細長いアパーチャ、もしくは前記第 2 の複数の細長いアパーチャ、またはその両方が、それぞれ Z 字形の平面視断面形状を有することを特徴とするボイド構造体。

**【請求項 12】**

請求項 1 に記載のボイド構造体であって、前記第 1 の複数の細長いアパーチャ、もしくは前記第 2 の複数の細長いアパーチャ、またはその両方が、それぞれバーベル形の平面視

50

断面形状を有し、前記バーベル形の平面視断面形状が、細長いスロットによって接続された１対の離間した穿孔を含むことを特徴とするボイド構造体。

【請求項１３】

請求項１に記載のボイド構造体であって、前記第１の複数の細長いアパーチャ、もしくは前記第２の複数の細長いアパーチャ、またはその両方が、それぞれＩ字形の平面視断面形状を有し、前記Ｉ字形の平面視断面形状が、細長いスロットによって接続された１対の離間した半円形スロットを含むことを特徴とするボイド構造体。

【請求項１４】

請求項１に記載のボイド構造体であって、前記第１および第２の複数の細長いアパーチャが、行および列から成るアレイに配置されることを特徴とするボイド構造体。

10

【請求項１５】

請求項１４に記載のボイド構造体であって、各前記行が均等に離間され、各前記列が均等に離間されることを特徴とするボイド構造体。

【請求項１６】

請求項１に記載のボイド構造体であって、前記細長いアパーチャのそれぞれが、短軸に垂直な長軸を有し、前記第１の複数の細長いアパーチャの前記長軸が、前記第２の複数の細長いアパーチャの前記長軸に実質的に垂直であることを特徴とするボイド構造体。

【請求項１７】

吹き出し冷却用オーゼティックシート構造体であって、

金属製シートであって、互いに背中合わせの上部表面および底部表面、ならびに前記上部表面から前記底部表面まで前記金属製シートを貫いて延在する第１および第２の複数の細長いアパーチャを有し、前記第１の複数の細長いアパーチャが、第１の幾何学的特性のセットおよび第１のパターンを有し、前記第２の複数の細長いアパーチャが、第２の幾何学的特性のセットおよび第２のパターンを有し、前記第１の複数の細長いアパーチャが、前記第２の複数の細長いアパーチャに対して直角に配向され、前記細長いアパーチャのそれぞれが、前記弾性硬質体の前記上部表面に対して斜めに角度を付けられる、金属製シートを備え、前記第１の複数の細長いアパーチャの前記第１の幾何学的特性およびパターンが、最小限の冷却性能挙動を提供するとともに巨視的で平面的な荷重条件下で負のポアソン比（ $NPR$ ）挙動を示すように、前記第２の複数の細長いアパーチャの前記第２の幾何学的特性およびパターンと協調的に構成されることを特徴とする吹き出し冷却用オーゼティックシート構造体。

20

30

【請求項１８】

オーゼティック構造体を製造する方法であって、

互いに背中合わせの上部表面および底部表面を有する弾性硬質体を用意するステップと、

前記弾性硬質体を貫いて前記上部表面から前記底部表面まで延在する第１の複数のアパーチャを前記弾性硬質体に付加するステップであって、前記第１の複数のアパーチャが、行および列に配置され、前記第１の複数の細長いアパーチャの各アパーチャが、前記弾性硬質体の前記上部表面に対して斜めに角度を付けられるステップと、

前記弾性硬質体を貫いて前記上部表面から前記底部表面まで延在する第２の複数のアパーチャを前記弾性硬質体に付加するステップであって、前記第２の複数のアパーチャが、行および列に配置されるステップと、  
を含み、

40

前記第１および第２の複数のアパーチャが、冷却性能を提供するとともに巨視的で平面的な荷重条件下での負のポアソン比（ $NPR$ ）挙動を通じて応力軽減を示すように、協調的に構成されることを特徴とする方法。

【請求項１９】

請求項１８に記載の方法であって、前記第２の複数の細長いアパーチャの各アパーチャが、前記弾性硬質体の前記上部表面に対して斜めに角度を付けられることを特徴とする方法。

50

## 【請求項 20】

請求項 18 に記載の方法であって、前記第 1 の複数の細長いアパーチャの各アパーチャが、前記弾性硬質体の前記上部表面に対しておおよそ 40 ~ 70 度の角度を付けられることを特徴とする方法。

## 【請求項 21】

請求項 18 に記載の方法であって、前記冷却性能が、おおよそ 30 ~ 50 % の吹き出し冷却効率を含むことを特徴とする方法。

## 【請求項 22】

請求項 18 に記載の方法であって、前記 NPR 拳動が、おおよそ - 0.2 から約 - 0.9 % のポアソン比を含むことを特徴とする方法。

10

## 【請求項 23】

請求項 18 に記載の方法であって、前記細長いアパーチャが、前記 NPR 拳動を得るために、既定の孔隙率、所定のパターン、もしくは所定のアスペクト比、またはそれらの任意の組合せを伴って特別設計されることを特徴とする方法。

## 【請求項 24】

請求項 18 に記載の方法であって、前記細長いアパーチャが、約 0.3 から約 9 % の所定の孔隙率を有することを特徴とする方法。

## 【請求項 25】

請求項 18 に記載の方法であって、前記細長いアパーチャのそれぞれが、おおよそ 5 ~ 40 のアスペクト比を有することを特徴とする方法。

20

## 【請求項 26】

請求項 18 に記載の方法であって、前記第 1 の複数の細長いアパーチャ、もしくは前記第 2 の複数の細長いアパーチャ、またはその両方が、それぞれ楕円形の平面視断面形状を有することを特徴とする方法。

## 【請求項 27】

請求項 18 に記載の方法であって、前記第 1 の複数の細長いアパーチャ、もしくは前記第 2 の複数の細長いアパーチャ、またはその両方が、それぞれ S 字形の平面視断面形状を有することを特徴とする方法。

## 【請求項 28】

請求項 18 に記載の方法であって、前記第 1 の複数の細長いアパーチャ、もしくは前記第 2 の複数の細長いアパーチャ、またはその両方が、それぞれ Z 字形の平面視断面形状を有することを特徴とする方法。

30

## 【請求項 29】

請求項 18 に記載の方法であって、前記第 1 の複数の細長いアパーチャ、もしくは前記第 2 の複数の細長いアパーチャ、またはその両方が、それぞれバーベル形の平面視断面形状を有し、前記バーベル形の平面視断面形状が、細長いスロットによって接続された 1 対の離間した穿孔を含むことを特徴とする方法。

## 【請求項 30】

請求項 18 に記載の方法であって、前記第 1 の複数の細長いアパーチャ、もしくは前記第 2 の複数の細長いアパーチャ、またはその両方が、それぞれ I 字形の平面視断面形状を有し、前記 I 字形の平面視断面形状が、細長いスロットによって接続された 1 対の離間した半円形スロットを含むことを特徴とする方法。

40

## 【請求項 31】

請求項 18 に記載の方法であって、前記第 1 および第 2 の複数の細長いアパーチャが、行および列から成るアレイに配置されることを特徴とする方法。

## 【請求項 32】

請求項 31 に記載の方法であって、各前記行が、均等に離間され、各前記列が、均等に離間されることを特徴とする方法。

## 【請求項 33】

請求項 18 に記載の方法であって、前記細長いアパーチャのそれぞれが、短軸に垂直な

50

長軸を有し、前記第 1 の複数の細長いアパーチャの前記長軸が、前記第 2 の複数の細長いアパーチャの前記長軸に実質的に垂直であることを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は一般に、調整された等方性および異方性のポアソン比を有する多孔質材料およびセルラーソリッド (cellular solid) に関する。より詳細には、本開示の態様は、負のポアソン比 (NPR: negative Poisson's Ratio) 挙動を示す特別設計のパターンを有するオーゼティック構造体、ならびにそのような構造体を使用するシステム、方法、およびデバイスに関する。

10

【背景技術】

【0002】

本出願は、2015年2月20日に出願された米国特許仮出願第62/118,826号、および2015年1月9日に出願された米国特許仮出願第62/101,840号の優先権を主張するものであり、そのどちらもそれぞれの全体を本願に引用して援用する。

【0003】

材料が特定の軸に沿って圧縮されるとき、それらは最も一般的には、印加される軸方向荷重を横断する方向に拡大することが観測される。逆に言えば、大抵の材料は、特定の軸に沿って引張荷重が印加されたとき、その軸を横断する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、これは、軸方向荷重条件下での横方向または側方向の歪みと軸方向または長手方向の歪みとの比率を逆符号としたものと定義することができる。大多数の材料は、正のポアソン比によって特徴付けられ、これは、ゴムではおおよそ0.5、アルミニウム、真鍮、および鋼ではおおよそ0.3、ガラスではおおよそ0.2である。

20

【0004】

反対に、負のポアソン比 (NPR) を有する材料は、軸方向に圧縮 (または延伸) されると横断方向に収縮 (または拡大) する。負のポアソン比挙動を示す材料は、しばしば「オーゼティック」材料と呼ばれる。多くの研究の結果は、オーゼティック挙動が材料の微細構造とその変形との間の相互作用を伴うことを示唆している。この例は、立方格子、天然積層セラミックス、強誘電性多結晶セラミックス、およびゼオライトを有する金属は全

30

【0005】

て負のポアソン比挙動を示し得るという発見によって提供される。さらに、いくつかの幾何形状および機構は、凹角構造、階層積層体、高分子および金属の発泡体を有する発泡体を含めて、ポアソン比に対して負の値を得るように提案されている。負のポアソン比の影響はまた、ソフトリソグラフィを使用して作製された複合材料を使用してマイクロメートルスケールで、また、カーボンナノチューブのシート組立体によりナノスケールで実証されている。

オーゼティック材料の作製における大きな課題は、それが通常、複雑な幾何形状を有する構造体をホスト母材に埋め込むことを伴うことである。したがって、製造プロセスは、応用に向けての実用的開発における障害となっている。多くのオーゼティック材料の基礎を形成する構造は、セルラーソリッドのものである。これらの材料の変形に関する研究は、座屈現象の役割と、荷重容量と、圧縮荷重下でのエネルギー吸収とに重点を置く、比較的成熟した分野である。ごく最近、実験的研究と数値的研究とを組み合わせた結果は、2Dの周期的多孔質構造における機械的不安定性が元の幾何形状の劇的な変化を引き起こし得ることを証明した。具体的には、弾性母材内の円形穴の方形アレイの単軸荷重が、アレイに荷重がかかっている間に、交互に互いに直交する楕円のパターンをもたらすことが分かっている。これは、印加される歪みの臨界値を超える弾性不安定性に起因する。この不安定性で観察される幾何学的な再編成は、可逆性のものであるとともに反復可能なものであり、また、印加される荷重の狭い範囲にわたって生じる。さらに、パターンの変化は2D構造に対する単方向性の負のポアソン比挙動をもたらすことが示されており、すなわち

40

50

、それは、圧縮下でのみ生じる。

【0006】

米国特許第5,233,828号(「828号特許」)は、高温用途で利用される特別設計のボイド構造 - 燃焼器ライナまたは「遮熱材」 - の例を示す。燃焼器ライナは、通常、ガスタービンの燃焼部で使用される。燃焼器ライナはまた、ガスタービンの排気部において、またはタービンブレードなどのガスタービンの他の部分もしくは構成要素において使用され得る。動作にあたっては、燃焼器は、約3,000°Fまたはそれを上回るような強烈な高温でガスを燃焼させる。この強烈な熱がタービンに出る前に燃焼器に損傷を与えることを防ぐために、燃焼器ライナは、燃焼器の内部に設けられて、周囲の機関を断熱する。燃焼器ライナにわたって温度差および圧力差を最小限に抑えるために、「828号特許」に示されるように、連続的なパターンで配置された離間した冷却孔の形態をなす冷却特徴が、従来設けられてきた。別の例として、米国特許第8,066,482(B2)号は、ガスタービンの所望の領域の冷却を促進すると同時に冷却孔内およびその周りの応力レベルを下げるために楕円形の冷却孔を有する、特別設計の構造部材を提示している。欧州特許第0971172(A1)号は、ガスタービンの燃焼ゾーンに使用される穿孔ライナの別の例を同様に示す。しかし、上記の特許文献のいずれも、オーゼティック挙動を示すものとして、またはNPR効果を提供するように特別設計されているものとして開示された例を提供しない。

10

【0007】

米国特許出願公開第2010/0009120(A1)号は、臨界の巨視的な応力または歪みが印加されると構造配置の変形を経験する弾性的または弾塑性的で周期的な固体を含む、様々な変形力のある周期的構造を開示している。前述の変形は、幾何学的パターンを変化させて、変形力のある周期的構造内の特徴の間隔および形状を変更する。臨界の巨視的な応力または歪みを取り除かれると、これらの弾性的で周期的な固体は、その元の形態に戻る。比較として、米国特許出願公開第2011/0059291(A1)号は、調整されたポアソン比挙動を提供する構造化多孔質材料を開示している。これらの多孔質構造は、負のまたはゼロのポアソン比を提供するようにボイドの変形に関する力学および材料の変形に関する力学を介して調整される、弾性のあるシートにおける楕円形または楕円形様のボイドのパターンから成る。上述の特許文献は全て、あらゆる目的のために、それぞれの全体を本願に引用して援用する。

20

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】米国特許第5,233,828号明細書

【特許文献2】米国特許第8,066,482号明細書

【特許文献3】欧州特許出願公開第0971172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】米国特許出願公開第2011/0059291号明細書

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

40

【0009】

本開示の態様は、所望の負のポアソン比(NPR)挙動および改善された冷却性能を提供するように特別設計された細長いアパーチャ(本明細書では「ボイド」または「スロット」とも呼ばれる)の繰返しのパターンを有するオーゼティック構造体を対象とする。構造材料の平面を貫いて材料の平面に垂直な方向に材料の厚さを横断して延在する従来技術のNPRボイド形状とは異なり、本明細書において開示されるNPRボイドは、材料の平面に対して斜めの角度で材料の厚さを横断する。これらの傾斜したボイドの構成は、構造体の冷却性能を高めるとともに、低孔隙率を維持しかつ所望のNPR挙動を提供する。本開示の他の態様は、ガスタービンの高温部に傾斜した空気通路を有する、多機能のNPR構造体を対象とする。さらなる態様は、熱、減衰、および/または音響に関する特定の機

50

能性を提供する特別設計の傾斜したボイド特徴を有する材料による壁を有して作られた、ガスタービン燃焼器を対象とする。そのような機能性には、例えば、音響減衰（または、騒音抑制）、応力軽減（または、荷重減衰）、および熱冷却（または、熱減衰）が含まれる。

#### 【0010】

本開示の態様によれば、傾斜したNPRスロットを有するオーゼティック構造体が開示される。一例では、オーゼティック構造体が、背中合わせの上部表面および底部表面を有する、金属製シートまたは他の十分に弾性のある固體材料などの、弾性硬質体を含む。第1および第2の複数の細長いアパーチャが、弾性硬質体を貫いて上部表面から底部表面まで延在する。第1の複数の細長いアパーチャは、第2の複数の細長いアパーチャに対して横方向に（例えば、直角に）延在する。第1および/または第2の複数の細長いアパーチャは、弾性硬質体の上部表面および/または底部表面に対して斜めに角度を付けられる。一例では、各スロットは、材料の平面に対して斜めの（例えば、おおよそ40～70度の）角度で、シート材料の厚さを横断する。細長いアパーチャは、所望のまたは最小限の冷却性能を提供するとともに巨視的で平面的な荷重条件下での負のボアソン比（NPR）挙動を通じて応力軽減を示すように、協調的に構成される。例として、細長いアパーチャは、所望のNPR挙動を得るために、既定の孔隙率、所定のパターン、および/または所定のアスペクト比を伴って特別設計される。オーゼティック構造体は、おおよそ30～50%の吹き出し冷却効率と、約0.3から約9%の孔隙率と、おおよそ-0.2から-0.9%のボアソン比とを示し得る。冷却効率（ $E_{ta}$ ）は、冷却デバイスの存在下での熱ガス温度と壁面温度との差を熱ガス温度と供給される冷却ガスの温度との差で割ったものとして定義することができ、すなわち、 $E_{ta} = (T_{\text{高温ガス}} - T_{\text{壁面}}) / (T_{\text{高温ガス}} - T_{\text{冷媒}})$ である。

#### 【0011】

本開示の他の態様によれば、吹き出し冷却用オーゼティックシート構造体に取り上げられる。一例では、背中合わせ上部表面および底部表面を有する金属製シートを含む、吹き出し冷却用オーゼティックシート構造体が提示される。第1および第2の複数の細長いアパーチャが、金属製シートを貫いて上部表面から底部表面まで延在する。第1の複数の細長いアパーチャは、第1の幾何学的特性のセットを有し、かつ、第1のパターンに配置される。同様に、第2の複数の細長いアパーチャは、第2の幾何学的特性のセットを有し、かつ、第2のパターンに配置される。第1の複数の細長いアパーチャは、第2の複数の細長いアパーチャに対して直角に配向される。細長いアパーチャのそれぞれは、弾性硬質体の上部表面に対して斜めに角度を付けられる。第1の複数の細長いアパーチャの幾何学的特性およびパターンは、所望のまたは最小限の冷却性能を提供するとともに巨視的で平面的な荷重条件下で負のボアソン比（NPR）挙動を示すように、第2の複数の細長いアパーチャの幾何学的特性およびパターンと協調的に構成される。

#### 【0012】

本開示の他の態様は、オーゼティック構造体の製造法および使用法を対象とする。一例では、オーゼティック構造体を製造するための方法が提示される。前述の方法は、背中合わせの上部表面および底部表面を有する弾性硬質体を用意するステップと、弾性硬質体を貫いて上部表面から底部表面まで延在する第1の複数のアパーチャを弾性硬質体に付加するステップであって、第1の複数のアパーチャが行および列に配置されるステップと、弾性硬質体を貫いて上部表面から底部表面まで延在する第2の複数のアパーチャを弾性硬質体に付加するステップであって、第2の複数のアパーチャが行および列に配置されるステップと、を含む。第1および/または第2の複数の細長いアパーチャの各アパーチャは、弾性硬質体の上部表面に対して斜めに角度を付けられる。第1および第2の複数のアパーチャは、所望のまたは最小限の冷却性能を提供するとともに巨視的で平面的な荷重条件下で負のボアソン比（NPR）挙動を示すように、協調的に構成される。例として、細長いアパーチャは、所望のNPR挙動を得るために、既定の孔隙率、所定のパターン、および/または所定のアスペクト比を伴って特別設計される。オーゼティック構造体は、おおよ

そ 30 ~ 50 % の吹き出し冷却効率と、およそ - 0.2 から - 0.9 % のポアソン比とを示し得る。弾性硬質体は、金属製シートまたは他の十分に弾性のある固体材料などの、様々な形態をとることができる。

#### 【0013】

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ことを意図されたものではない。むしろ、前述の概要は、本明細書に提示された新規な態様および特徴のうちのいくつかの例示を提供するものに過ぎない。単独でまた任意の組合せで発明性があると考えられる、上記の特徴および利点、ならびに本開示の他の特徴および利点は、添付の図面および添付の特許請求の範囲に関連して解釈したときに、本開示を実施するための代表的な実施形態およびモードの以下の詳細な説明から容易に明らかになるであろう。

10

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0014】

【図1】本開示の態様による、細長い貫通孔を有する代表的な構造体のポアソン比挙動を示す、公称歪み対ポアソン比のグラフである。

【図2A】グラフからの特定のデータ点に対応する、図1の代表的な構造体の図である。

【図2B】グラフからの特定のデータ点に対応する、図1の代表的な構造体の図である。

【図2C】グラフからの特定のデータ点に対応する、図1の代表的な構造体の図である。

【図3A】本開示の態様による、傾斜したNPR S字形スロットの側面図および斜視図である。

【図3B】本開示の態様による、傾斜したNPR S字形スロットの側面図および斜視図である。

20

【図4A】本開示の態様による、他の傾斜したNPRスロットの斜視図である。

【図4B】本開示の態様による、他の傾斜したNPRスロットの斜視図である。

【図4C】本開示の態様による、他の傾斜したNPRスロットの斜視図である。

【図4D】本開示の態様による、他の傾斜したNPRスロットの斜視図である。

【図5A】本開示の態様による、可変の湾曲部(cap)回転を含む、傾斜したNPR S字形スロットおよび傾斜したNPR Z字形スロットの平面図である。

【図5B】本開示の態様による、可変の湾曲部(cap)回転を含む、傾斜したNPR S字形スロットおよび傾斜したNPR Z字形スロットの平面図である。

【図6A】本開示の態様による、0度の角度を示す、傾斜したNPR S字形スロットの平面図である。

30

【図6B】本開示の態様による、45度の角度を示す、傾斜したNPR S字形スロットの平面図である。

【図6C】本開示の態様による、55度の角度を示す、傾斜したNPR S字形スロットの平面図である。

【図6D】本開示の態様による、65度の角度を示す、傾斜したNPR S字形スロットの平面図である。

【図7A】本開示の態様による、非NPRの垂直の冷却孔に対する冷却挙動を示す説明図である。

【図7B】本開示の態様による、垂直のNPR冷却スロットに対する冷却挙動を示す説明図である。

40

【図7C】本開示の態様による、傾斜したNPR冷却スロットに対する冷却挙動を示す説明図である。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0015】

本開示は、様々な変形および代替形態を受け入れる余地があり、いくつかの代表的な実施形態が、例として図面に示されており、また、本明細書において詳細に説明される。しかし、本開示の発明性のある態様は、図面に示された特定の形態に限定されるものではないことが、理解されるべきである。むしろ、本開示は、添付の特許請求の範囲によって定められる本発明の精神および範囲に含まれる全ての変形、均等物、組合せおよび部分的組

50



合せ、ならびに代替形態を含むものである。

【 0 0 1 6 】

本開示は、多くの異なる形態で実施形態を受け入れる余地がある。代表的な実施形態が、本開示は本開示の原理の例示と見なされるべきものでありかつ本開示の多様な態様を図示された実施形態に限定するように意図されたものではないという了解の下で、図面に示されており、本明細書において詳細に説明される。その限りにおいて、例えば、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において開示されているが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制限は、単独にまたは集合的に、含意、推測、または他の方法により、特許請求の範囲に組み込まれるべきではない。本発明の詳細な説明の目的のために、具体的に否定されていないかまたは論理的に禁じられていない限り、単数形は複数形を含み、その逆も同様であり、また、「含む」または「備える」または「有する」という用語は、「制限なく含む」を意味する。さらに、本明細書において、「約」、「ほぼ」、「実質的に」、「おおよそ」などの近似の用語は、例えば、「において、近く、近くにおいて」、または「～の3～5%内」、または「許容可能な製造公差内」、またはそれらの任意の論理的な組合せの意味で使用され得る。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 7 】

本開示の態様は、巨視的に荷重をかけたときに負のポアソン比 (NPR) 挙動を提供する傾斜したスロットの繰返しのパターンを含むオーゼティック構造体を対象とする。ポアソン比 (または「ポアソン係数」) は、一般に、引っ張られた物体における横断方向の収縮歪みの長手方向の伸長歪みに対する比率として表され得る。ポアソン比は、典型的には、多くの合金、重合体、ポリマー発泡体、およびセルラーソリッドを含む大抵の材料の場合、正であり、それらの材料は、延伸されたときに断面が薄くなる。本明細書において開示されるオーゼティック構造体は、負のポアソン比挙動を示す。

【 0 0 1 8 】

開示される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 (例えば、Y方向に) 圧縮されると、隣り合うアパーチャの配置の仕方のために、同軸の歪みが、各セルの中心の周りにモーメントをもたらす。そして、それにより、セルが回転させられる。各セルは、そのすぐ隣のセルとは逆方向に回転する。この回転は、水平方向に隣り合ったセル間の横方向軸 (X方向) の距離の減少をもたらす。言い換えれば、構造体をY方向に圧縮することにより、構造体はX方向に収縮させられる。反対に、Y方向における引張りは、X方向における拡大をもたらす。構造体全体のスケールにおいて、これは、オーゼティック材料の挙動をまねる。しかし、本明細書で開示される構造体の多くは、従来の材料で構成される。したがって、純粋な材料それ自体は、正のポアソン比を有し得るが、本明細書で開示される傾斜したスロットのパターンの導入により構造体を改造することにより、構造体は、負のポアソン比を有するように振る舞う。

【 0 0 1 9 】

図1は、図2A～2Cに示された3つの代表的なボイド構造体のポアソン比挙動を示す、公称歪みに対するポアソン比 (PR) のグラフである。図1のチャートは、荷重下での各試験片のポアソン比を示す。特定の変形の水準において、「瞬間の」PRは、変形の水準を表すパラメータ (例えば、公称歪み) と対照して判定されプロットされ得る。意図された適用法に対して設計者が所望のNPRを有する場合、そのPRに対応する変形の水準を決定することができ、また、その条件における孔の幾何形状を決定することができる。次いで、応力を受けていない部品にこの孔の形状パターンを機械加工 (製造) して、所望のPRを持つ構成要素を獲得することができる。

【 0 0 2 0 】

図2Bおよび2Cで明らかなように、NPRアパーチャパターンは、楕円形の貫通スロットとして示される、水平方向および垂直方向に配向された細長い穴 (「アパーチャ」または「ボイド」または「スロット」とも呼ばれる) より成り得る。これらの細長い穴は、各垂直方向の線が均等に離間され、かつ、各水平方向の線が垂直方向の線同等の間隔 (また、 $x = y$ ) で均等に離間される形で、水平方向および垂直方向の線 (例えば、図2

Bにおける正方形アレイの行および列)に配置される。各スロットの中心は、各線のうちの2つの線の交差点上に位置する。水平方向に配向されたスロット、および垂直方向に配向されたスロットは、垂直方向に配向されたいずれのスロットも水平方向に配向されたスロットに取り囲まれる(逆の場合も同じ)一方で次の垂直方向に配向されたスロットが両対角線上に見られるように、垂直方向および水平方向の線上に交互に並ぶ。これらのボイドは、冷却孔および/または減衰孔として機能することもでき、また、それらの配置により、応力軽減特徴部としても機能することができる。本明細書で示されるスロットのうちの1つ以上は、細長いNPR突出部または半球形のNPRディンプルに置き換えられてもよい。

#### 【0021】

本明細書で開示される特定のオーゼティック構造形状のうちのいずれかを含む材料による1つ以上の壁を有して作られるガスタービン燃焼器も開示される。いくつかの実施形態では、傾斜したスロットは、製造時に金属構造をつぶすことなく金属体におけるNPR挙動を得るために、外部荷重下におけるゴムに見られるつぶれたボイド形状にアパーチャの形状が相当するように、応力が加えられていない状態で金属体に直接生成される。金属製構成要素にボイドパターンを複製するために、様々な製造工程が使用され得る。製造は、必ずしも工程ステップのうちの1つとして座屈を含まない。本明細書で開示されるオーゼティック構造体は、燃焼器壁に限定されるものではなく、むしろ、それらの特徴は、タービンの他の部分(例えば、ブレード、羽根、等)に取り込まれ得る。

#### 【0022】

従来の燃焼器壁では、冷却空気流および減衰のために使用される穴は、応力集中部としても機能する。開示された実施形態のうちのいくつかでは、高温箇所における壁材料がその周囲の材料を例えば垂直方向に圧迫すると、壁材料は負のポアソン比により水平方向に収縮することになり、逆の場合も同じである。この挙動は、高温箇所における応力を著しく減少させる。この効果は、剛性を低下させる影響よりも紛れもなく大きい。高温箇所における応力は、例えば50%減少し、そのことにより、応力疲労寿命が桁違いに増加することになる。NPR挙動による応力軽減は、燃焼器壁の空気消費量を増加させない。より長い寿命は、そのように使用されてもよく、または、壁材料は、原料費を削減するために、より安価なものに置き換えられてもよい。

#### 【0023】

また、円形の燃焼器冷却孔を2~3%の少量の細長い傾斜した空気通路に置き換えることにより、冷却および減衰性能を維持しながらも熱機械応力が少なくとも5分の1に軽減されることが証明された。例えば、燃焼器における楕円形の冷却孔は、最悪の主応力を5分の1に減少させることが予測されている。したがって、NPR挙動を誘発することは、NPR挙動が従来の冷却孔と比較して最悪の主応力を5分の1に減少させるという点において、燃焼器の冷却孔にさらなる機能性を付加する。燃焼器固有の超合金の応力疲労において、分応力を半減させることにより、疲労寿命は10倍超延びる。いくつかの実施形態では、超合金は、インコネル(例えば、IN100、IN600、IN713)、ワスパロイ、ルネ合金(例えば、ルネ41、ルネ80、ルネ95、ルネN5)、ヘインズ合金、インコロイ、MP98T、TMS合金、およびCMSX(例えば、CMSX-4)単結晶合金などの、ニッケル基超合金であり得る。

#### 【0024】

最適化された孔隙率は冷却機能の向上をもたらすことが示されている。本明細書において、「孔隙率」は、アパーチャの表面積AAを構造体の表面積ASで割ったものを意味すると定義することができ、すなわち、孔隙率 =  $AA / AS$  である。所与のボイド構造体の孔隙率は、いくつかの実施形態ではおおよそ0.3~9.0%であることが望ましい場合があり、または、いくつかの実施形態ではおおよそ1~4%であることが望ましい場合があり、または、いくつかの実施形態ではおおよそ2%であることが望ましい場合がある。比較として、多くの従来技術の構成は、40~50%の孔隙率を必要とする。

#### 【0025】

所望のNPR挙動を提供するために、細長いアパーチャに対する所定の最適なアスペクト比が存在する可能性がある。本明細書において、アパーチャの「アスペクト比」は、アパーチャの幅で割った長さ、またはアパーチャの短軸の長さで割った長軸の長さを意味すると定義することができる。アパーチャのアスペクト比は、いくつかの実施形態ではおおよそ5～40であることが望ましい場合があり、または、いくつかの実施形態ではおおよそ20～30であることが望ましい場合がある。最適なNPRは、約-0.2から約-0.9のPR、またはいくつかの実施形態の場合、約-0.5のPRを含み得る。開示される概念の態様は、ミリメートルのパターン長さスケールで作成された構造パターンで実証することができ、また、単位格子が構造体に適合する限り、より小さな長さスケール（例えば、マイクロメートル、サブマイクロメートル、およびナノメートルの長さスケール）またはより長い長さスケールで同じ周期パターンを有する構造体にも同様に適用可能である。

10

#### 【0026】

次に図3～6を参照すると、本開示による、所望のNPR挙動および強化された冷却性能を示す、傾斜したスロットのオーゼティック構造体の様々な例が示されている。例えば、図3Aおよび3Bは、細長い非対称なスロットの交互パターンを利用する、全体的に300で示すオーゼティック構造体を示す。前述のスロットは、短軸（例えば、幅）よりも長くかつ短軸に直角な長軸（例えば、長さ）をそれぞれが有するという点で、細長い。図示のように、オーゼティック構造体300は、弾性を有する硬質体（弾性硬質体）310を含み、この弾性硬質体310は、巨視的な荷重状態が十分に緩和または解消されたときに実質的にまたは完全にその元の形態に戻るのに十分な弾性を有する、金属製シートまたは他の固体材料の形態であり得る。弾性硬質体310は、第2の（底部）表面316に対して背中合わせに離間された第1の（上部）表面314を有する。弾性硬質体310には、ここではスロット312によって表される第1の複数のS字形の貫通スロット（本明細書では「アパーチャ」または「ボイド」または「スロット」とも呼ばれる）が作製され、このスロット312は、上部表面314から底部表面316まで本体310を貫いて延在する。ここではスロット318によって表される第2の複数のS字形の貫通スロット/アパーチャもまた、上部表面314から底部表面316まで、弾性硬質体310を貫いて延在する。弾性硬質体310に存在する細長いアパーチャのパターンは、図2Bおよび2Cに見られるものと配置が類似し得る。

20

30

#### 【0027】

S字形の貫通スロット312、318は、行および列から成るアレイまたはマトリクスに配置され、第1の複数の細長いアパーチャ312は、第2の複数の細長いアパーチャ318に対して横方向に延在する。構造体内部のスロット318の構造形状を示す隠れ線は、スロット312の構造体内部の構造形状をより明瞭に示すために図3Aおよび3Bから省略されていることに、留意されたい。少なくともいくつかの実施形態では、各行は、均等に離間され、同様に、各列は、均等に離間される。例えば、図3Aおよび3Bの示された実施形態によれば、各行および各列は、水平方向に配向されたS字形の貫通スロット318と交互配置された、垂直方向に配向されたS字形の貫通スロット312を含む。実際には、垂直方向に配向された各貫通スロット312は、4辺において、水平方向に配向された貫通スロット318に隣接され、一方で、水平方向に配向された各貫通スロット318は、4辺において、垂直方向に配向された貫通スロット312に隣接される。この配置によれば、第1の複数のS字形の貫通スロット312の短軸は、アレイの行に平行であり、一方で、第2の複数のS字形の貫通スロット318の短軸は、アレイの列に平行である。したがって、アレイの行に平行である貫通スロット318の長軸は、アレイの列に平行である貫通スロット312の長軸に垂直である。NPR挙動を通じて応力軽減を達成するための他のパターンおよび配置も本開示の範囲および精神に含まれることが想定されている。

40

#### 【0028】

示された細長い傾斜したスロットのパターンは、特定の孔隙率（例えば、約0.3から

50

約 9.0% の孔隙率) および所望の冷却性能 (例えば、おおよそ 30 ~ 50% の吹き出し冷却効率) を提供するとともに、巨視的で平面的な荷重条件下で (例えば、シートの平面に引張りまたは圧縮が加えられたときに)、所望の負のポアソン比挙動 (例えば、約 -0.2 から約 -0.9 の  $\nu$ ) を示す。例えば、オーゼティック構造体 300 が、垂直軸 Y に沿って引張力  $F_T$  を介して引っ張られると、垂直方向における軸方向歪みにより、各セルの中心の周りにモーメントがもたらされ、それによりセルが回転される。セルは、正方形のユニットを形成するように、垂直方向に隣接した 2 つの水平スロットに位置合わせされた、横方向に隣接した 2 つの垂直スロットから成り得る。各セルは、そのすぐ隣のセルの方向とは反対の向きに回転する。この回転は、水平方向に隣接したセル間の X 方向距離を増大させ、そのため構造体を Y 方向に引き伸ばすことが構造体を X 方向に引き伸ばすことになる。第 1 の複数の S 字形の貫通スロット 312 は、既定の幾何形状および既定のアスペクト比を含む (第 1 の) 特別設計の幾何学的特性を有し、第 2 の複数の S 字形の貫通スロット 318 は、既定の幾何形状および既定のアスペクト比を含む (第 2 の) 特別設計の幾何学的特性を有し、これらは、巨視的な荷重条件下で所望の NPR 挙動を得るために、NPR スロット密度およびセル配置を含むアパーチャパターンの (第 3 の) 特別設計の幾何学的特性と協調的に構成される。

#### 【0029】

第 1 および / または第 2 の複数の細長い S 字形の貫通スロット 312、318 の各スロットは、オーゼティック構造体 300 の弾性硬質体 310 の上部表面 314 もしくは底部表面 316 またはその両方に対して斜めに傾けられ得る。一例では、材料の厚さ全体を材料の水平面に対して斜めの角度で横切るスロット 312 が、図 3A に示されている。少なくともいくつかの実施形態の場合、各アパーチャは、オーゼティック構造体の本体 310 の上部表面 314 および底部表面 316 と、おおよそ 20 ~ 80 度、またはいくつかの実施形態ではおおよそ 40 ~ 70 度の角度を有する。これらの巨視的にパターン化された NPR ボイド - S 字形の傾斜したスロット (図 3A、3B、4A、および 5A)、または同等に、I 字形の傾斜したスロット (図 4B)、バーベル形の傾斜したスロット (図 4C)、楕円形の傾斜したスロット (図 4D)、Z 字形の傾斜したスロット (図 5B)、C 字形の傾斜したスロット、等 - は、冷却流体 FL がオーゼティック構造体の一方の表面を越え、図 3A に示されるような傾斜角で本体を通過して、オーゼティック構造体の反対側の表面を越えることを可能にする、吹き出し冷却孔として機能する。この構成は、本体の厚さに対して垂直でありしたがって冷却流体の流れをより制限する従来の冷却用のスロット / 穴と比較して、膜冷却性能を向上させる。傾斜角は、注入ベクトル (injection vector) と材料平面上でのその射影との間の角度として定義され得る。この傾斜角は、オーゼティック挙動および膜冷却性能の多くの所望される組合せを得るために、360° の回転角度の自由度で変更され得る。冷却効率 (Eta) は、多孔質の表面上を流れる流体がその表面を高温の主流からどれくらい効果的に保護しているかを定量的に示す、無次元の値として表され得る。冷却効率は、冷却デバイスの存在下での熱ガス温度と壁面温度との差を熱ガス温度と供給される冷却ガスの温度との差で割ったものとして定義することができ、すなわち、 $\text{Eta} = (T_{\text{熱ガス}} - T_{\text{壁面}}) / (T_{\text{熱ガス}} - T_{\text{冷媒}})$  である。

#### 【0030】

図 3 ~ 6 で開示されたものなどの、パターン化された傾斜した NPR スロット特徴は、スロットの内部表面積が、垂直で円形の穴またはスロットの内部表面積よりも大きいので、従来の直角 (垂直) で円形の穴および冷却スロットよりも著しく良好に冷却することが示されている。断熱膜冷却効率もまた、例えば、表面上でのより一様な冷却空気の分布、および、主流内への冷却ジェット of 侵入の減少により、従来の垂直の冷却穴およびスロットに比べて向上される。このことは、図 7A の代表的な非 NPR の垂直の冷却孔 ( $\text{Eta} = 17\%$ )、図 7B の垂直の NPR の冷却スロット ( $\text{Eta} = 36\%$ )、および図 7C の傾斜した NPR の S 字形のスロット ( $\text{Eta} = 44\%$ ) に関する冷却挙動を比較すると分かる。傾斜した NPR - スロット膜は、冷媒ジェットを離昇させて主流に侵入させるので

はなく壁面に良好に密着させる、コアンダ効果の恩恵を受けることができる。このことは、傾斜角を減少するのに役立ち、それにより、冷媒ジェットの侵入が軽減され、NPRスロットの冷却性能が高められる。空気力学的観点から、傾斜したNPRスロットの軽減された冷媒ジェットの侵入は、垂直の冷媒スロット流れに比べて、膜冷却による空力的損失を減少させる。傾斜角は、オーゼティック挙動と膜冷却性能の所望の組合せを得るために変更され得る。

#### 【0031】

傾いた冷却スロットを有することは、冷却流れに直角な内部壁を有する垂直の冷却孔と比較してより良好な膜冷却効率範囲を提供するのに役立つことが判定されている。さらに、初期研究は、傾斜したNPRスロットからの冷媒放出は、スロットから放出される閉じた膜に対して混合プロセスがそれほど強烈ではないので、垂直の冷却孔からの放出よりも効率的であることを示している。ガスタービンのブレードおよび羽根が直面する高い熱応力は、典型的には、極めて細長いスロットの使用を可能としないが、傾斜したNPRスロットは、膜冷却性能を高めると同時にタービンブレード/羽根への高い熱応力を軽減するかさもなければ排除するのに役立つ。少なくともいくつかの実施形態の場合、表面孔隙率とタービン機関に使用される冷媒の量とを最小限に抑えることが一般に望ましく、孔隙率を最小限に抑えるために、垂直のNPRスロットをより小数の傾斜したNPRスロットと置き換えることができる。この場合、冷却流の消費量が減少する一方で、吹き出しスロットの膜冷却性能は維持される。

#### 【0032】

開示された特徴の例示的な実装として、従来の丸い吹き出し孔または垂直の吹き出しスロットが、オーゼティック構造体を形成する傾斜したS字形のNPRスロットのパターンに置き換えられた、金属薄板壁を有する燃焼器ライナを検討することができる。そのような傾斜したS字形のスロットを通じて供給される冷却空気は、構造体から熱を除去し、かつ、表面にわたって一様な冷却空気の分散を引き起こす。増大した内部表面積を有する、これらの傾斜したスロットは、膜冷却性能を高め、かつ、機械的応答を改善する。さらに、傾斜したNPRスロットは、より高い火炎温度に耐えることができ、かつ、垂直の吹き出し孔を有する従来の金属薄板壁に比べてはるかに長い寿命をシートに与えるのに役立つ。

#### 【0033】

図4A～4Dには、本開示の態様による傾斜したNPRスロットを有する、それぞれ400A、400B、400C、および400Dで全体的に指名された、他のオーゼティック構造体の斜視図が示されている。外観に違いはあるが、オーゼティック構造体400A～400Dは、他のオーゼティック構造体に関連して本明細書で説明される特徴、選択肢、および代案の任意のものを含み得る。同様に、明確に否定されていないかまたは論理的に禁じられていない限り、本明細書において開示されるオーゼティック構造体のいずれかは、他の開示された実施形態と、特徴、選択肢、および代案を共有し得る。オーゼティック構造体400A～400Dのそれぞれは、所望の冷却性能を提供するとともに巨視的で平面的な荷重条件下で所定のNPR挙動を示すためのパターンに配置された複数の細長く傾斜したアパーチャ412A、412B、412C、および412Dを有して作製された、弾性硬質体410A、410B、410C、および410Dをそれぞれ含む。図4Aでは、細長いアパーチャ412Aは、平面視においてS字形の断面形状を有するが、図4Bにおける細長いアパーチャ412Bは、細長い線形スロットによって接続された1対の離間した半円形のスロットを含む、I字形の断面形状を有する。比較すると、図4Dにおける細長いアパーチャ412Dは、平面視において楕円形の断面形状を有し、図4Cにおける細長いアパーチャ412Cは、細長い線形スロットによって接続された1対の離間し丸みを帯びた穿孔を含む、パーベル形の平面視断面形状を有する。前述の傾斜したNPRスロットのいずれも、例えばレーザ切断により、NPRスロットの線形パターンを傾斜角に沿って表面に展開することによって製造され得る。

#### 【0034】

図4 A ~ 4 Dを引き続き参照すると、外側（上部）表面上に現れる傾斜したN P R スロットの断面は、標準の形状 - 例えば、標準の「S」4 1 4 A、丸みを帯びた腕部を含む標準の「I」4 1 4 B、円形の端部を含む標準のバーベル4 1 4 C、および標準の楕円4 1 4 D - の突出部として設計され得る。場合により、外側（上部）表面上に現れる傾斜したN P R スロットの断面は、例えば、スロットの所望の角度および / または配向に応じて、元の像から大きく歪められてもよい。図6 A ~ 6 Dは、管状オーゼティック構造体の外側表面上でのスロットの歪みを示しており、図6 Aは、0度の角度を示す垂直のN P R S 字形スロットを示し、図6 Bは、45度の角度を示す傾斜したN P R S 字形スロットを示し、図6 Cは、55度の角度を示す傾斜したN P R S 字形スロットを示し、図6 Dは、65度の角度を示す傾斜したN P R S 字形スロットを示す。

10

#### 【0035】

例えばZ字形のスロット5 1 2 A（図5 A）およびS字形のスロット（図5 B）といった、新たなN P R スロットの形状が、湾曲部長さ5 1 1 Aおよび5 1 1 Bならびに / または湾曲部高さ5 1 3 Aおよび5 1 3 Bを減少させて既存のまたは「標準的な」S字形状 / Z字形状に類似した水平方向突出部を提供することにより、開発され得る。湾曲部のサイズおよび形状は、オーゼティック挙動と膜冷却性能の所望の組合せを得るために変更され得る。傾斜したS字形の吹き出しスロット、または同等にZ字形のスロットの膜冷却性能は、高温面の上方により長い冷却温度層を生成することによって向上され得る。より長い冷却温度層は、S字形のスロットの湾曲部を反時計方向に（または、Z字形のスロットの湾曲部では時計方向に）回転させることで自由主流に垂直なスロットの側面積を増大させることによって、作り出され得る。この湾曲部回転角度5 1 5 Aおよび5 1 5 Bは、オーゼティック挙動と膜冷却性能の所望の組合せを得るために変更され得る。S字形スロットの湾曲部を反時計方向に回転させることにより、湾曲部の頂部における最大機械的応力が軽減され、また、高温面の上方の冷却温度層の範囲が増大したことにより、吹き出しスロットの膜冷却性能が高められる。

20

#### 【0036】

本開示の態様はまた、オーゼティック構造体を製造する方法、およびオーゼティック構造体を使用する方法を対象とする。例として、図3 ~ 6に関連して上述されたオーゼティック構造体などのオーゼティック構造体を製造するための方法が提示される。この方法は、包括的で非排他的な一連の行為として、図3 Aおよび3 Bの弾性硬質体3 1 0などの、背中合わせの上部表面および底部表面を有する弾性硬質体を用意するステップと、図3 Aおよび3 Bの細長いS字形のスロット3 1 2などの、弾性硬質体を貫いて上部表面から底部表面まで延在する第1の複数のアパーチャを、弾性硬質体に付加するステップと、図3 Aおよび3 Bの細長いS字形のスロット3 1 8などの、弾性硬質体を上部表面から底部表面まで貫いて延在する第2の複数のアパーチャを、弾性硬質体に付加するステップと、を含む。第1および第2の複数のアパーチャは、行および列に配置される。第1および / または第2の複数のアパーチャの各アパーチャは、弾性硬質体の上部表面に対して斜めに角度を付けられる。第1および第2の複数のアパーチャは、既定の冷却性能を提供するとともに巨視的で平面的な荷重条件下で所定の負のボアソン比（N P R）挙動を示すように、協調的に構成される。例として、細長いアパーチャは、所望のN P R 挙動を得るために、既定の孔隙率、所定のパターン、および / または所定のアスペクト比を伴って特別設計される。オーゼティック構造体は、おおよそ30 ~ 50%の吹き出し冷却効率と、おおよそ - 0.2 から - 0.9%のボアソン比とを示し得る。弾性硬質体は、金属製シート、または他の十分に弾性のある固体材料などの、様々な形態をとることができる。

30

40

#### 【0037】

いくつかの実施形態では、方法は、少なくとも上記に列挙されかつ図面に示されたこれらのステップを含む。ステップを省略すること、さらなるステップを含むこと、および / または上記の順序を変更することも、本発明の範囲および精神に含まれる。前述の方法はオーゼティック構造体を設計および作製するための単一シーケンスを表すものであり得ることが、さらに留意されるべきである。しかし、方法は体系的かつ反復的な形で実施され

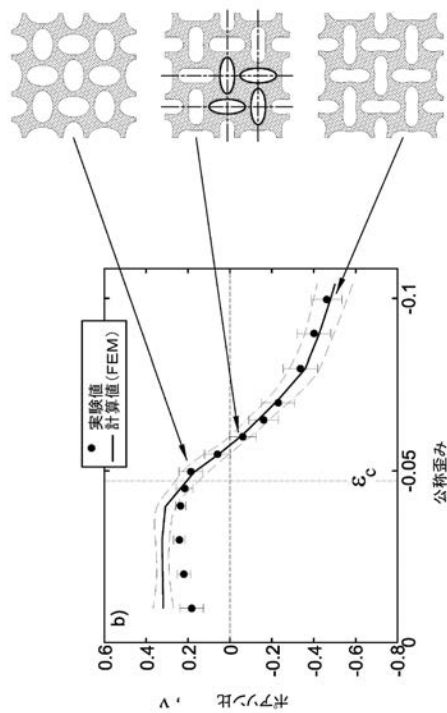
50

ることが期待される。

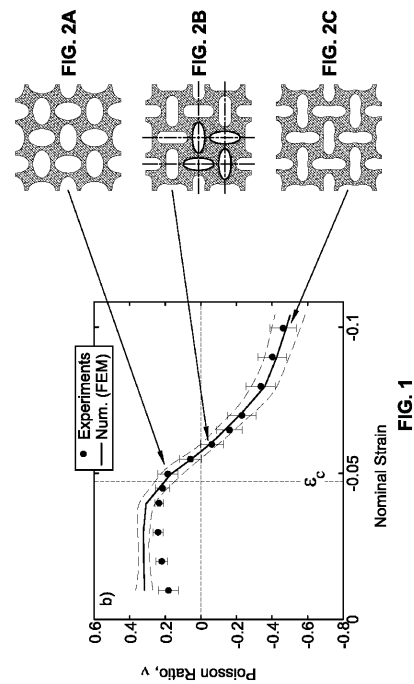
【 0 0 3 8 】

本発明は、本明細書において開示された明確な構成および組成に限定されるものではない。むしろ、前述の説明から明らかになるあらゆる変形、変更、組合せ、置換、および変化が、添付の特許請求の範囲において定められる本発明の範囲および精神に含まれる。さらに、本発明の概念は、前述の要素および態様のあらゆる組合せおよび部分的組合せを明確に含む。

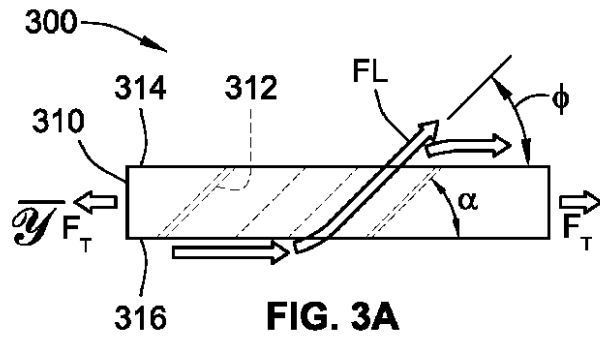
【 図 1 】



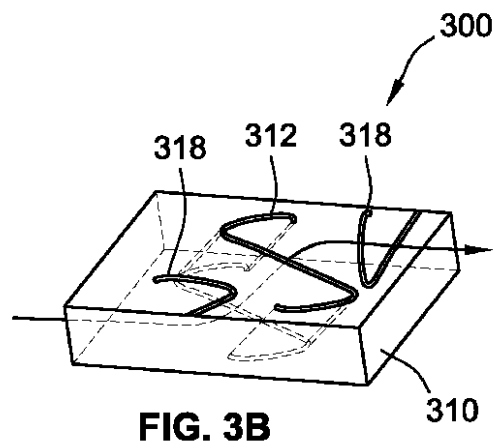
【 図 2 A - 2 C 】



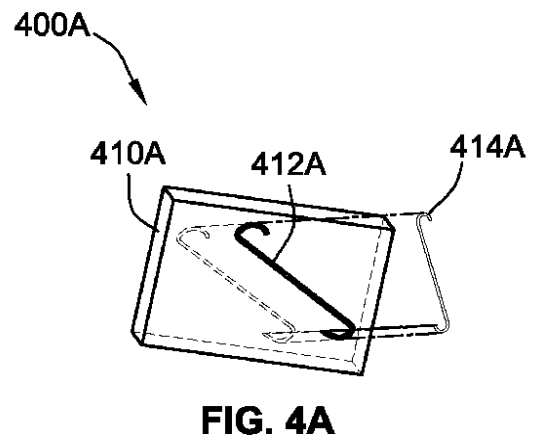
【図 3 A】



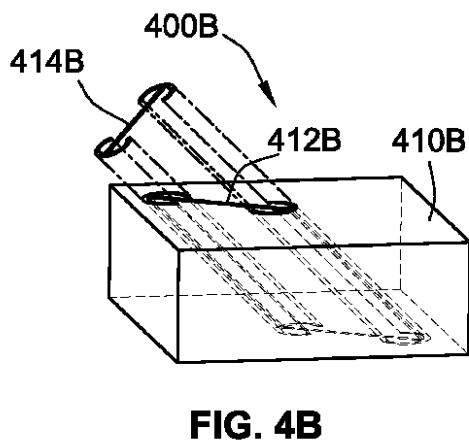
【図 3 B】



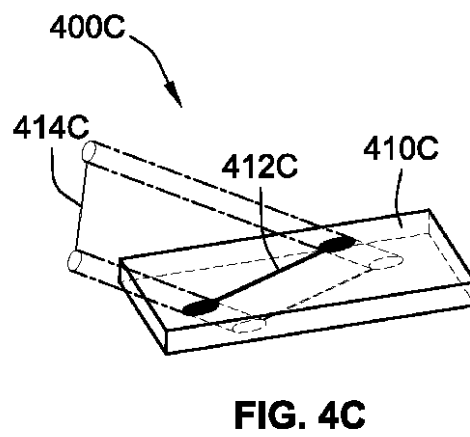
【図 4 A】



【図 4 B】



【図 4 C】





【図 4 D】

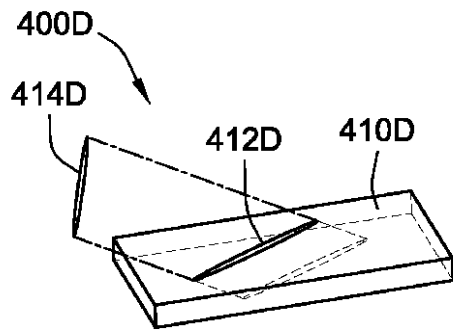


FIG. 4D

【図 5 A】

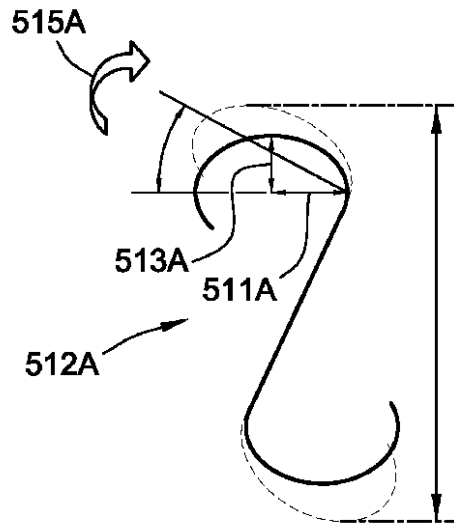


FIG. 5A

【図 5 B】

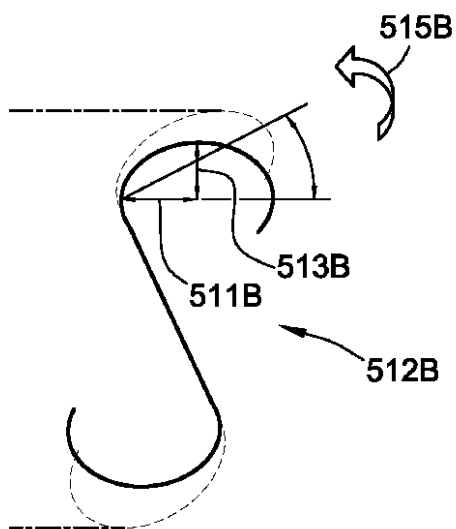


FIG. 5B

【図 6 A】

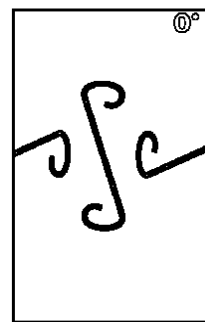


FIG. 6A

【図 6 B】

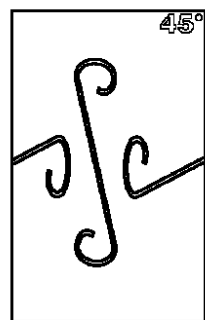


FIG. 6B

【図 6 C】

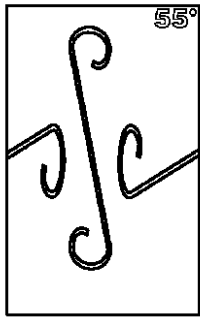


FIG. 6C

【図 6 D】



FIG. 6D

【図 7 A】

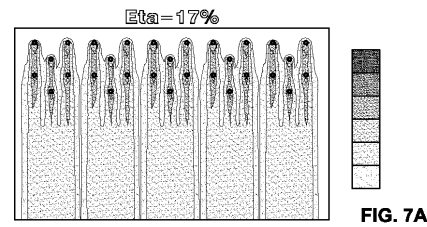


FIG. 7A

【図 7 B】

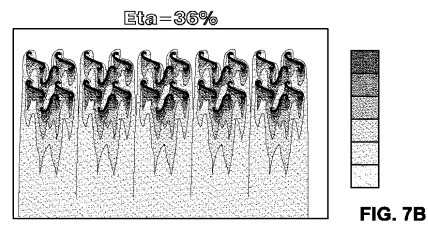


FIG. 7B

【図 7 C】

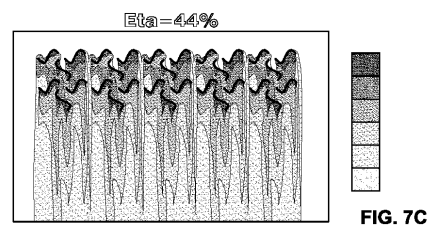


FIG. 7C

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US 16/12769

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC(8) - B21D 28/24, B29C 55/02, B32B 3/10, B32B 3/24, B32B 38/04 (2016.01)

CPC - B21D 28/24, B29C 44/357, B29C 55/02, B32B 3/10, B32B 3/266, B32B 3/30, B32B 2038/04

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(8)- B21D 28/24, B29C 55/02, B32B 3/10, B32B 3/24, B32B 38/04 (2016.01);

CPC- B21D 28/24, B29C 44/357, B29C 55/02, B32B 3/10, B32B 3/266, B32B 3/30, B32B 2038/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
USPC- 29/514, 29/515, 29/557, 264/154, 264/156, 264/173.15, 264/210.7, 264/220, 428/131, 428/132, 428/136, 428/148;  
Patents and NPL (classification, keyword; search terms below)

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

Pub West (US EP JP WO), Pat Base (AU BE BR CA CH CN DE DK EP ES FI FR GB IN JP KR SE TH TW US WO), Google Patent, Google Scholar, Free Patents Online; search terms: auxetic, negative, Poisson, elastic, elastomeric, elongate, stretch, aperture, opening, perforate, hole, shape, profile, pattern, barbell, transverse, orthogonal, perpendicular...

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2014/0260281 A1 (INNES) 18 September 2014 (18.09.2014), Figs. 5A, 5B, 6C, 6E; para [0004], [0025]-[0028], [0032]-[0039]	1-33
Y	US 2007/0189484 A1 (SCHUMACHER et al.) 26 July 2007 (26.07.2007), Fig. G; para [0007], [0027]-[0030]	1-33
Y	WO 2014/151045 A1 (PRESIDENT AND FELLOWS OF HARVARD COLLEGE; ROLLS-ROYCE CANADA, LTD.) 25 September 2014 (25.09.2014), para [0009]-[0047]	1-33
Y	US 2014/0270936 A1 (GERENDAS et al.) 18 September 2014 (18.09.2014), para [0020]-[0050]	1-33
Y	US 2011/0059291 A1 (BOYCE et al.) 10 March 2011 (10.03.2011), para [0006]-[0036]	1-33

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

\* 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

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 April 2016 (28.04.2016)

Date of mailing of the international search report

03 JUN 2016

Name and mailing address of the ISA/US

Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450  
Facsimile No. 571-273-8300

Authorized officer:

Lee W. Young

PCT Helpdesk: 571-272-4300  
PCT OSP: 571-272-7774

## フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

テーマコード(参考)

F 0 1 D 5/28

(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,RO,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,DO,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,NL,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 517242991

イネス マッシュー 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 2 1 4 3 0 ルーラル ロード 1

(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 1 2 5 3 アpartment 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 3 5 0 アpartment 1 5 1 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 ブース - モリソン クリストファー

カナダ ケベック オテルピュ パルク ジェルヴェ アベニュー 1 7 2

(72)発明者 ファーハンギ メヘラーン

カナダ ケベック モントリオール ソメルレド アベニュー 6 2 0 5 アpartment 3 0 6

(72)発明者 イネス マッシュー 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 2 1 4 3 0 ルーラル ロード 1

(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 1 2 5 3 アpartment 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 3 5 0 アpartment 1 5 1 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 4 5 アpartment 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 4 7 2

Fターム(参考) 3G202 BA08 CA13 CB01 GA10 GB01 JJ02