

(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2018-508737  
(P2018-508737A)

(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	A
<b>B 3 2 B 3/10 (2006.01)</b>	B 3 2 B 3/10	
<b>B 3 2 B 15/01 (2006.01)</b>	B 3 2 B 15/01	K
<b>F 0 2 C 7/00 (2006.01)</b>	F 0 2 C 7/00	C

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2017-555432 (P2017-555432)  
 (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) 国際出願番号 PCT/US2016/012768  
 (87) 国際公開番号 W02016/112367  
 (87) 国際公開日 平成28年7月14日 (2016.7.14)  
 (31) 優先権主張番号 62/101, 834  
 (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, 823  
 (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 517243493  
 ユッテ フランソワ-シャビエル  
 カナダ ケベック ロンゲール ル サン  
 トマ 575 #101  
 (71) 出願人 517243002  
 ファム ミン クァン  
 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 416

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 特注の NPR 挙動のための特別設計のパターンを有する混成ディンプルボイドオーセチック構造

(57) 【要約】

オーセチック構造、低孔隙率のオーセチックシート、オーセチック構造を伴うシステムおよびデバイス、ならびに、オーセチック構造の使用法および製造法が開示される。弾性的に硬質の本体 310 を含むオーセチック構造 300 が開示され、弾性的に硬質の本体 310 は、弾性的に硬質の本体 310 を貫いて延在する複数の開口部 312 と、弾性的に硬質の本体 310 から突出する複数の突出部 314 とを有する。開口部 312 および突出部 314 は、行および列から成るアレイなどの、特別設計のパターンに配置される。開口部 312 は、既定の孔隙率を提供するとともに巨視的で平面的な負荷条件下での負のポアソン比 (NPR) 挙動を通じて応力軽減を呈示するように、突出部 314 と協調するように構成される。いくつかの実施形態では、楕円形または半球形のディンプルである突出部 314 は、方形または六角形のパターンにおいて、S 字形の貫通スロットまたは円形の穿孔である開口部 312 が間に配置される。

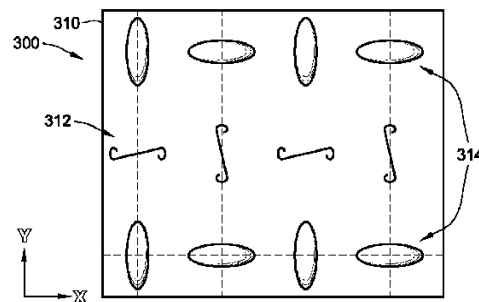


FIG. 3

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

オーセチック構造であって、  
弾性的に硬質の本体を備え、前記弾性的に硬質の本体が、  
行および列から成る第 1 のアレイに配置されている、前記弾性的に硬質の本体を貫いて  
延在する複数の開口部と、  
行および列から成る第 2 のアレイに配置されている、前記弾性的に硬質の本体から突出  
する複数の突出部と  
を有し、

前記複数の開口部が、既定の孔隙率を提供するとともに巨視的で平面的な負荷条件下で  
負のポアソン比 (NPR) 挙動を呈示するように、前記複数の突出部と協調するように構  
成されることを特徴とするオーセチック構造。

10

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載のオーセチック構造であって、前記突出部のそれぞれが、短軸に垂直な  
長軸を有する細長いものである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、前記突出部の前記短軸が、前記第 2 のア  
レイの前記行に平行であり、前記突出部の前記長軸が、前記第 2 のアレイの前記列に平行  
であることを特徴とするオーセチック構造。

20

## 【請求項 4】

請求項 2 に記載のオーセチック構造であって、前記突出部が、それぞれの長軸を前記第  
2 のアレイの前記行に平行にして配置された第 1 の複数の突出部と、それぞれの長軸を前  
記第 2 のアレイの前記列に平行にして配置された第 2 の複数の突出部とを含むことを特徴  
とするオーセチック構造。

## 【請求項 5】

請求項 2 に記載のオーセチック構造であって、前記突出部が楕円形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 1 に記載のオーセチック構造であって、前記突出部が、1 つ以上の隆起した突出  
部、および 1 つ以上の窪んだ突出部を含むことを特徴とするオーセチック構造。

30

## 【請求項 7】

請求項 1 に記載のオーセチック構造であって、前記突出部が半球形であることを特徴と  
するオーセチック構造。

## 【請求項 8】

請求項 1 に記載のオーセチック構造であって、前記複数の突出部が、前記複数の開口部  
と交互に配置される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、前記開口部のそれぞれが、前記突出部の  
それぞれを貫いて画定される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、前記開口部のそれぞれが、短軸に垂直な  
長軸を有する細長いものであることを特徴とするオーセチック構造。

40

## 【請求項 11】

請求項 10 に記載のオーセチック構造であって、前記開口部の前記長軸が、前記第 1 の  
アレイの前記行に平行であり、前記開口部の前記短軸が、前記第 1 のアレイの前記列に平  
行であることを特徴とするオーセチック構造。

## 【請求項 12】

請求項 10 に記載のオーセチック構造であって、前記開口部が、それぞれの長軸を前記  
第 1 のアレイの前記行に平行にして配置された第 1 の複数の開口部と、それぞれの長軸を  
前記第 1 のアレイの前記列に平行にして配置された第 2 の複数の開口部とを含むことを特

50

徴とするオーセチック構造。

【請求項 13】

請求項 10 に記載のオーセチック構造であって、前記開口部が、S 字形の貫通スロットであることを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 14】

請求項 10 に記載のオーセチック構造であって、前記細長い開口部が、応力が加えられていない状態にあるときに、前記弾性的に硬質の本体に存在することを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 15】

請求項 10 に記載のオーセチック構造であって、前記細長い開口部によって提供される前記既定の孔隙率が、おおよそ 0.3 ~ 9 % であることを特徴とするオーセチック構造。

10

【請求項 16】

請求項 1 に記載のオーセチック構造であって、前記開口部のそれぞれ、および前記突出部のそれぞれが、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オーセチック構造。

【請求項 17】

請求項 1 に記載のオーセチック構造であって、前記開口部が、円形の穿孔であることを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 18】

請求項 1 に記載のオーセチック構造であって、前記弾性的に硬質の本体が、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。

20

【請求項 19】

請求項 1 に記載のオーセチック構造であって、前記第 1 のアレイおよび前記第 2 のアレイが、前記開口部および前記突出部が同じ行および列に沿って整列するように、同一であることを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 20】

請求項 1 に記載のオーセチック構造であって、前記開口部が、前記既定の孔隙率および第 1 の所定のアスペクト比を含む第 1 の幾何学的特性を具備し、前記突出部が、既定の深さおよび第 2 の所定のアスペクト比を含む第 2 の幾何学的特性を具備し、前記第 1 および第 2 の幾何学的特性が、巨視的で平面的な負荷の下での NPR 挙動を通じて応力軽減を呈示するように協調的に構成されることを特徴とするオーセチック構造。

30

【請求項 21】

請求項 1 に記載のオーセチック構造であって、前記弾性的に硬質の本体が、多結晶合金、または単結晶合金、またはその両方から成るシート材料を含むことを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 22】

請求項 1 に記載のオーセチック構造であって、前記突出部および前記開口部が、六角形単位セルのパターンに配置され、前記六角形単位セルのそれぞれの各頂点に前記突出部のうちの 1 つが位置し、前記六角形単位セルのそれぞれの中心に前記開口部のうちの 1 つが位置することを特徴とするオーセチック構造。

40

【請求項 23】

請求項 1 に記載のオーセチック構造であって、前記突出部および前記開口部が、方形単位セルのパターンに配置され、前記方形単位セルのそれぞれの各頂点に前記開口部のうちの 1 つが位置し、前記方形単位セルのそれぞれの中心に前記突出部のうちの 1 つが位置することを特徴とするオーセチック構造。

【請求項 24】

請求項 1 に記載のオーセチック構造であって、前記突出部および前記開口部が、方形単位セルのパターンに配置され、前記方形単位セルそれぞれの各頂点に前記突出部のうちの 1 つが位置し、前記方形単位セルそれぞれの中心に前記開口部のうちの 1 つが位置することを特徴とするオーセチック構造。

50

## 【請求項 25】

請求項 1 に記載のオーセチック構造であって、前記突出部および前記開口部が、方形単位セルのパターンに配置され、前記方形単位セルのそれぞれの各頂点に前記突出部のうちの 1 つが位置し、前記方形単位セルのそれぞれの中心に前記開口部のうちの 1 つが位置することを特徴とするオーセチック構造。

## 【請求項 26】

低孔隙率のオーセチック構造であって、

金属製シートであって、前記金属製シートを貫いて延在する複数のボイドと、前記金属製シートから突出する複数のディンプルとを有し、前記ボイドが、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、前記ディンプルが、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、金属製シートを備え、前記ボイドの前記幾何学的特性および前記パターンが、既定の孔隙率を提供するとともに巨視的な負荷条件下で負のポアソン比 (NPR) 挙動を呈示するように、前記ディンプルの前記幾何学的特性および前記パターンと協調するように構成されることを特徴とするオーセチック構造。

## 【請求項 27】

オーセチック構造を製造する方法であって、

弾性的に硬質の本体を用意するステップと、

前記弾性的に硬質の本体に、前記弾性的に硬質の本体を貫いて延在する複数の開口部を付加するステップであって、前記複数の開口部が、行および列から成る第 1 のアレイに配置されるステップと、

前記弾性的に硬質の本体に、前記弾性的に硬質の本体から突出する複数の突出部を付加するステップであって、前記複数の突出部が、行および列から成る第 2 のアレイに配置されるステップと、

を含み、

前記複数の開口部が、既定の孔隙率を提供するとともに巨視的で平面的な負荷条件下での負のポアソン比 (NPR) 挙動を通じて応力軽減を呈示するように、前記複数の突出部と協調するように構成されることを特徴とする方法。

## 【請求項 28】

請求項 27 に記載の方法であって、前記突出部のそれぞれが、短軸に垂直な長軸を有する細長いものであることを特徴とする方法。

## 【請求項 29】

請求項 28 に記載の方法であって、前記突出部の前記短軸が、前記第 2 のアレイの前記行に平行であり、前記突出部の前記長軸が、前記第 2 のアレイの前記列に平行であることを特徴とする方法。

## 【請求項 30】

請求項 28 に記載の方法であって、前記突出部が、それぞれの長軸を前記第 2 のアレイの前記行に平行にして配置された第 1 の複数の突出部と、それぞれの長軸を前記第 2 のアレイの前記列に平行にして配置された第 2 の複数の突出部とを含むことを特徴とする方法。

## 【請求項 31】

請求項 28 に記載の方法であって、前記突出部が楕円形であることを特徴とする方法。

## 【請求項 32】

請求項 27 に記載の方法であって、前記突出部が、1 つ以上の隆起した突出部、および 1 つ以上の窪んだ突出部を含むことを特徴とする方法。

## 【請求項 33】

請求項 27 に記載の方法であって、前記突出部が半球形であることを特徴とする方法。

## 【請求項 34】

請求項 27 に記載の方法であって、前記複数の突出部が、前記複数の開口部と交互に配置されることを特徴とする方法。

## 【請求項 35】

請求項 27 に記載の方法であって、前記開口部のそれぞれが、前記突出部のそれぞれを貫いて画定されることを特徴とする方法。

【請求項 36】

請求項 27 に記載の方法であって、前記開口部のそれぞれが、短軸に垂直な長軸を有する細長いものであることを特徴とする方法。

【請求項 37】

請求項 36 に記載の方法であって、前記開口部の前記長軸が、前記第 1 のアレイの前記行に平行であり、前記開口部の前記短軸が、前記第 1 のアレイの前記列に平行であることを特徴とする方法。

【請求項 38】

請求項 36 に記載の方法であって、前記開口部が、それぞれの長軸を前記第 1 のアレイの前記行に平行にして配置された第 1 の複数の開口部と、それぞれの長軸を前記第 1 のアレイの前記列に平行にして配置された第 2 の複数の開口部とを含むことを特徴とする方法。

【請求項 39】

請求項 36 に記載の方法であって、前記開口部が、S 字形の貫通スロットであることを特徴とする方法。

【請求項 40】

請求項 36 に記載の方法であって、前記細長い開口部が、前記弾性的に硬質の本体に応力が加えられていない状態にあるときに、前記弾性的に硬質の本体に存在することを特徴とする方法。

【請求項 41】

請求項 36 に記載の方法であって、前記細長い開口部によって提供される前記既定の孔隙率が、おおよそ 0.3 ~ 9% であることを特徴とする方法。

【請求項 42】

請求項 27 に記載の方法であって、前記開口部のそれぞれ、および前記突出部のそれぞれが、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。

【請求項 43】

請求項 27 に記載の方法であって、前記開口部が、円形の穿孔であることを特徴とする方法。

【請求項 44】

請求項 27 に記載の方法であって、前記弾性的に硬質の本体が、金属製シートを含むことを特徴とする方法。

【請求項 45】

請求項 27 に記載の方法であって、前記第 1 のアレイおよび前記第 2 のアレイが、前記開口部および前記突出部が同じ行および列に沿って整列するように、同一であることを特徴とする方法。

【請求項 46】

請求項 27 に記載の方法であって、前記開口部が、前記既定の孔隙率および第 1 の所定のアスペクト比を含む第 1 の幾何学的特性を具備し、前記突出部が、既定の深さおよび第 2 の所定のアスペクト比を含む第 2 の幾何学的特性を具備し、前記第 1 および第 2 の幾何学的特性が、巨視的で平面的な負荷条件下での N P R 挙動を通じて応力軽減を達成する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 47】

請求項 27 に記載の方法であって、前記弾性的に硬質の本体が、多結晶合金、または単結晶合金、またはその両方から成るシート材料を含むことを特徴とする方法。

【請求項 48】

請求項 27 に記載の方法であって、前記突出部および前記開口部が、六角形単位セルのパターンに配置され、前記六角形単位セルのそれぞれの各頂点に前記突出部のうちの 1 つが位置し、前記六角形単位セルのそれぞれの中心に前記開口部のうちの 1 つが位置するこ

10

20

30

40

50

とを特徴とする方法。

【請求項 49】

請求項 27 に記載の方法であって、前記突出部および前記開口部が、方形単位セルのパターンに配置され、前記方形単位セルのそれぞれの各頂点に前記開口部のうちの 1 つが位置し、前記方形単位セルのそれぞれの中心に前記突出部のうちの 1 つが位置することを特徴とする方法。

【請求項 50】

請求項 27 に記載の方法であって、前記突出部および前記開口部が、方形単位セルのパターンに配置され、前記方形単位セルのそれぞれの各頂点に前記突出部のうちの 1 つが位置し、前記方形単位セルのそれぞれの中心に前記開口部のうちの 1 つが位置することを特徴とする方法。

10

【請求項 51】

請求項 27 に記載の方法であって、前記突出部および前記開口部が、方形単位セルのパターンに配置され、前記方形単位セルのそれぞれの各頂点に前記突出部のうちの 1 つが位置し、前記方形単位セルのそれぞれの中心に前記開口部のうちの 1 つが位置することを特徴とする方法。

【請求項 52】

オーセチック構造を作製する方法であって、  
前記オーセチック構造の所定の設計要件に対する設計値を受け取るステップと、  
前記受け取った設計値から、前記オーセチック構造のための必要とされる構成要素孔隙率を決定するステップと、

20

前記オーセチック構造に対する最大許容応力値を決定するステップと、  
前記最大許容応力値および前記必要とされる構成要素孔隙率に少なくとも部分的に基づいて、前記オーセチック構造の複数のスロットのためのスロット設計パラメータを決定するステップと、

前記最大許容応力値および前記必要とされる構成要素孔隙率に少なくとも部分的に基づいて、前記オーセチック構造の複数のディンプルのためのディンプル設計パラメータを決定するステップと、

前記最大許容応力値および前記必要とされる構成要素孔隙率に少なくとも部分的に基づいて、前記スロットおよび前記ディンプルのための単位セル配置を決定するステップと、

30

前記決定されたスロット設計パラメータ、前記決定されたディンプル設計パラメータ、および前記決定された単位セル配置に従って、弾性的に硬質の本体に前記複数のスロットおよびディンプルを付加するステップと、  
を含むことを特徴とする方法。

【請求項 53】

請求項 52 に記載の方法であって、前記受け取った設計値から前記オーセチック構造のための必要とされる剛性を決定するステップをさらに含むことを特徴とする方法。

【請求項 54】

請求項 52 に記載の方法であって、前記オーセチック構造の前記所定の設計要件に対する前記受け取った設計値から、前記オーセチック構造が NPR に適しているかどうかを判定するステップをさらに含むことを特徴とする方法。

40

【請求項 55】

請求項 54 に記載の方法であって、意図された適用法が、熱応力主導型であるか、変位制御された負荷条件下で機能するか、または必要とされる NPR 値に対する所定の値を有するか、またはそれらの任意の組合せである場合に、前記オーセチック構造が NPR に適していることを特徴とする方法。

【請求項 56】

請求項 52 に記載の方法であって、前記必要とされる構成要素孔隙率が高いのか中位なのかゼロなのかを判定するステップをさらに含むことを特徴とする方法。

【請求項 57】

50

請求項 5 6 に記載の方法であって、

前記必要とされる構成要素孔隙率が高い場合に、前記弾性的に硬質の本体への前記ディンブルの付加を減少するかまたは排除するステップと、

前記必要とされる構成要素孔隙率が中位である場合に、前記弾性的に硬質の本体に相補的な数の前記ディンブルおよび前記スロットを付加するステップと、

前記必要とされる構成要素孔隙率がゼロである場合に、前記弾性的に硬質の本体への前記スロットの付加を減少するかまたは排除するステップと、

をさらに含むことを特徴とする方法。

【請求項 5 8】

請求項 5 2 に記載の方法であって、前記弾性的に硬質の本体への前記スロットおよび前記ディンブルの付加に先立って、前記決定されたスロット設計パラメータ、前記決定されたディンブル設計パラメータ、および前記決定された単位セル配置を分析するステップをさらに含むことを特徴とする方法。

10

【請求項 5 9】

請求項 5 2 に記載の方法であって、前記スロット設計パラメータまたは前記ディンブル設計パラメータを適応させることにより前記 NPR 挙動を調整するステップをさらに含むことを特徴とする方法。

【請求項 6 0】

請求項 5 2 に記載の方法であって、前記スロット設計パラメータが、前記スロットのための形状、サイズ、アスペクト比、またはそれらの任意の組合せを含むことを特徴とする方法。

20

【請求項 6 1】

請求項 5 2 に記載の方法であって、前記ディンブル設計パラメータが、前記ディンブルのための形状、サイズ、深さ、またはそれらの任意の組合せを含むことを特徴とする方法。

【請求項 6 2】

請求項 5 2 に記載の方法であって、前記単位セル配置が、パターン、間隔、比率、またはそれらの任意の組合せを含むことを特徴とする方法。

【請求項 6 3】

請求項 5 2 に記載の方法であって、前記所定の設計要件が、外部負荷要件、熱減衰要件、またはそれらの任意の組合せを含むことを特徴とする方法。

30

【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) 挙動を呈示する特別設計のパターンを有するオーセチック構造 (auxetic structure)、ならびにそのような構造を使用するシステム、方法、およびデバイスに関する。

40

【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62/118,823号、および2015年1月9日に出願された米国特許仮出願第62/101,834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、印加される軸方向負荷に直交する方向に拡大することが認められる。逆に言えば、大抵の材料は、収縮の軸に直交する軸に沿って引張負荷が印加されたときに、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、これは、軸方向負荷条件下

50

での横方向 / 側方向の歪みと軸方向 / 長手方向の歪みとの比率の負数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、このポアソン比は、ゴムでは約 0.5、アルミニウム、真鍮、および鋼では約 0.3、ガラスでは約 0.2 である。

#### 【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呈示する材料は、しばしば「オーセチック」材料と呼ばれる。多くの研究の結果は、オーセチ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する。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て負のポアソン比挙動を呈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動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。

10

#### 【0005】

オーセチック材料の作製における重要な課題は、オーセチック材料が通常、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。多くのオーセチック材料の基礎を形成する構造は、セルラーソリッドの構造である。これらの材料の変形に関する研究は、座屈現象の役割と、負荷容量と、圧縮負荷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負荷が、アレイに負荷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、印加される負荷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、パターンの変化は、圧縮下でのみ生じる。

20

30

#### 【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ポイド構造 - 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とも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状の冷却孔を有する、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、オーセチック挙動を呈示するものとして、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。

40

#### 【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

50



は歪みが印加されると構造配置の変形を呈する弾性的または弾塑性的な固体を含む、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が取り除かれると、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。

10

**【発明の概要】****【課題を解決するための手段】****【0008】**

本開示の態様は、特注の負のポアソン比(NPR)挙動を提供するための特別設計のパターンを有する混成ディンプル-ボイドオーセチック構造を対象とする。例として、硬質であるが弾力性のある材料のシートが、楕円形、パーベル形、またはS字形の貫通スロットなどの注意深く設計されたボイドと、注意深く設計された隆起したまたは窪んだ突出部とを有して、作製される。これらのボイドおよび突出部は、変位負荷条件下での応力を軽減するように特別設計されたパターンで、シートの平面に配置される。応力の軽減は、例えば、セルの回転(cell rotation)を通じて達成され、結果的に、シートにNPR挙動を与える。ボイドの形状は、種々の位相パラメータを調整することにより、応力を最小限に抑えるように最適化され得る。多くの形状パラメータも構造全体の孔隙率に影響を及ぼすので、いずれの応力最適化パターンも、それに関連した一定の孔隙率を有することになる。

20

**【0009】**

多くの場合、パターン化されたオーセチック構造は、変位負荷条件における最小限の応力のために最適化されると、例えばガスタービンにおける燃焼構成要素のための目標といった典型的な目標よりも高い孔隙率になりがちである。これらの目標は、場合によっては9.0%に達するが一般に0.3~5.0%の間であり、タービンの排気目標を達成するのに重要であり得る。関連する制約を最適化プロセスに適用することによりオーセチック構造にこの範囲内の孔隙率が与えられる場合、混成オーセチックを形成するためにボイドパターン化オーセチック特徴(例えば、スロット)とともに使用される無孔のオーセチック特徴(例えば、ディンプル)の付加を伴って、応力軽減が達成される。この混成構造は、ボイドのみを利用するオーセチック構造によって得られる孔隙率値よりもはるかに低い特定の孔隙率値を得て、既存の技術と比較して相応のNPR挙動を提供するとともになおも応力軽減を達成することができる。混成オーセチック構造の1つの例は、同じアスペクト比を有して方形パターンに配置される、楕円形のディンプルとS字形の貫通スロットの組合せを用いる。

30

**【0010】**

本開示のいくつかの態様によれば、様々なオーセチック構造が開示される。一例では、オーセチック構造が、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、弾性的に硬質の本体(elastically rigid body)を含み、弾性的に硬質の本体は、弾性的に硬質の本体を貫いて延在する複数の開口部と、弾性的に硬質の本体から突出する複数の突出部とを有する。開口部は、行および列から成る第1のレイに配置され、一方、突出部は、行および列から成る第2のレイに配置される。開口部は、既定の孔隙率を提供するとともに、例えばそのようなNPR構造のセルの回転(cellular rotation)および応力軽減特性を通じた、巨視的で平面的な負荷条件下での負のポアソン比(NPR)挙動を通じた応力軽減を提示するために、複数の突出部と協調するように構成される。いくつかの構成では、楕円形または半球形のディンプルである突出部は、方形または六角形のパターンにおいて、S字形の貫通スロットまたは円形の穿

40

50

孔である開口部が間に配置される。

【0011】

本開示の他の態様によれば、低孔隙率のオーセチックシート構造が開示される。一例では、金属製シートを含む低孔隙率のオーセチックシート構造が提示され、金属製シートは、金属製シートを貫いて延在する複数のポイドと、金属製シートから突出する複数のディンプルとを有する。幅、半径、アスペクト比、および/または曲率などの第1の幾何学的特性のセットを有するポイドは、第1のパターンに配置される。アスペクト比および/または深さなどの第2の幾何学的特性のセットを有するディンプルは、第2のパターンに配置される。ポイドの幾何学的特性およびパターンは、既定の孔隙率を提供するとともに巨視的で平面的な負荷条件下での負のポアソン比(NPR)挙動を通じて応力軽減を提示するために、ディンプルの幾何学的特性およびパターンと協調するように構成される。

10

【0012】

本開示の他の態様は、オーセチック構造の製造方法および使用方法を対象とする。一例では、オーセチック構造を製造するための方法が提示される。前述の方法は、弾性的に硬質の本体を用意するステップと、弾性的に硬質の本体を貫いて延在する複数の開口部を弾性的に硬質の本体に付加するステップであって、複数の開口部が行および列から成る第1のレイに配置されるステップと、弾性的に硬質の本体から突出する複数の突出部を弾性的に硬質の本体に付加するステップであって、複数の突出部が行および列から成る第2のレイに配置されるステップと、を含み、複数の開口部は、既定の孔隙率を提供するとともに巨視的で平面的な負荷条件下での負のポアソン比(NPR)挙動を通じた応力軽減を呈示するように、複数の突出部と協調するように構成される。弾性的に硬質の本体は、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。いくつかの構成では、楕円形または半球形のディンプルである突出部は、方形または六角形のパターンにおいて、S字形の貫通スロットまたは円形の穿孔である開口部が間に配置される。

20

【0013】

本開示の他の態様によれば、オーセチック構造を作製する方法が提示される。この方法は、オーセチック構造の所定の設計要件に対する設計値を受け取るステップと、受け取った設計値から、オーセチック構造のための必要とされる構成要素の孔隙率および/または剛性を決定するステップと、オーセチック構造に対する最大許容応力値を決定するステップと、最大許容応力値および必要とされる構成要素孔隙率/剛性に少なくとも部分的に基づいて、オーセチック構造の複数のスロットのためのスロット設計パラメータを決定するステップと、最大許容応力値および必要とされる構成要素孔隙率/剛性に少なくとも部分的に基づいて、オーセチック構造の複数のディンプルのためのディンプル設計パラメータを決定するステップと、最大許容応力値および必要とされる構成要素孔隙率/剛性に少なくとも部分的に基づいて、スロットおよびディンプルのための単位セル配置(unit cell arrangement)を決定するステップと、決定されたスロット設計パラメータ、決定されたディンプル設計パラメータ、および決定された単位セル配置に従って、複数のスロットおよびディンプルを弾性的に硬質の本体に付加するステップと、を含む。

30

40

【0014】

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。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【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のポアソン比挙動を示

50

す、公称歪み対ポアソン比のグラフである。

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

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

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

【図 3】本開示の態様による、楕円形の突出部と S 字形の貫通スロットとを利用する代表的な混成ディンプル - ボイドオーセチック構造の平面図である。

【図 4】本開示の態様による、楕円形の突出部と S 字形の貫通スロットとを利用する代表的な混成ディンプル - ボイドオーセチック構造の平面図である。

【図 5】本開示の態様による、半球形の突出部と S 字形の貫通スロットとを利用する代表的な混成ディンプル - ボイドオーセチック構造の平面図である。

【図 6】本開示の態様による、半球形の突出部と S 字形の貫通スロットとを利用する代表的な混成ディンプル - ボイドオーセチック構造の平面図である。

【図 7】本開示の態様による、半球形の突出部と S 字形の貫通スロットとを利用する代表的な混成ディンプル - ボイドオーセチック構造の平面図である。

【図 8】本開示の態様による、半球形の突出部と円形のボアスロット ( bore slot ) とを利用する代表的な混成ディンプル - ボイドオーセチック構造の平面図である。

【図 9】本開示の態様による、半球形の突出部と円形のボアスロット ( bore slot ) とを利用する代表的な混成ディンプル - ボイドオーセチック構造の平面図である。

【図 10】開示された概念の態様によるオーセチック構造を作製するためのアルゴリズムまたはワークフロー図を示す、流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

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合せ、ならびに代替形態を含むものである。

【0017】

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。

【0018】

本開示の態様は、巨視的に負荷をかけられたときに負のポアソン比 ( NPR ) 挙動を提供する繰返しの開口部および突出部のパターンを含む、混成ディンプル - ボイドオーセチック構造を対象とする。ポアソン比 ( または、「ポアソン係数」 ) は、一般に、延伸さ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セチック構造は、負のポアソン比挙動を呈示す

10

20

30

40

50

る。

#### 【0019】

開示される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（例えば、Y方向に）圧縮されると、隣り合う開口部の配置方法のために、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、構造をY方向に圧縮することにより、構造は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をまねる。しかし、本明細書で開示される構造の多くは、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、本明細書において開示される開口部および突出部のパターンの導入により構造を変形することにより、構造は、負のポアソン比を有するように振る舞う。

10

#### 【0020】

図1は、図2A～2Cに示された3つの代表的なボイド構造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、負荷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、その条件における穴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穴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。

20

#### 【0021】

図2Bおよび2Cで明らかのように、NPR開口部パターンは、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（「開口部」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、両次元における各水平方向の線が均等に離間される（また、 $x = y$ ）形で、水平方向および垂直方向の線（例えば、図2Bにおける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よって取り囲まれる（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、冷却穴および/または減衰穴として機能することもでき、また、それらの配置により、応力軽減特徴としても機能することができる。本明細書で論じられるように、図2Bおよび2Cに示されたスロットのうちの一つ以上は、同じように成形されたディンプル（本明細書では「突出部」または「突起」とも呼ばれる）に置き換えられてもよい。

30

#### 【0022】

本明細書で開示される特定のオーセチック構造形状のうちのいずれかを含む材料による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、開口部の形状および突出部の形状は、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、外部負荷下におけるゴムに見られるつぶれたボイド形状に開口部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一つとして座屈を含まない。本明細書で開示されるオーセチック構造は、燃焼器壁に限定されるものではなく、むしろ、これらの特徴は、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。

40

#### 【0023】

従来の燃焼器壁では、冷却用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いくつかでは、熱点における壁材料がその

50

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、熱点における応力を著しく減少させる。この効果は、低下した剛性の影響よりも紛れもなく強い。熱点における応力は、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挙動による応力減少は、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。

#### 【0024】

また、円形の燃焼器冷却孔を2~3%の少量の細長い/楕円形の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。

10

#### 【0025】

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、開口部の表面積 $A_A$ を構造体の表面積 $A_S$ 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 $= A_A / A_S$ である。所与のポイド構造の孔隙率は、いくつかの実施形態では約0.3~9%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約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約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。

20

#### 【0026】

所望のNPR挙動を提供するために、細長い開口部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、開口部の「アスペクト比」は、開口部の幅で割った長さ、または開口部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。開口部のアスペクト比は、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、例えば、-0.5とすることができる。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。

30

#### 【0027】

次に図3~9を参照すると、本開示によるNPR挙動を呈示する混成ディンプル-ポイドオーセチック構造の様々な例が示されている。例えば、図3は、細長い対称な突出部の交互パターンと細長い非対称なスロットの交互パターンとを利用する、全体的に300で指名された混成ディンプル-ポイドオーセチック構造を示す。前述の突出部およびスロットは細長く、それぞれが、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)を有する。図示のように、オーセチック構造300は、弾性的に硬質の本体310を含み、この弾性的に硬質の本体310は、巨視的な負荷状態が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剛体の形態であり得る。弾性的に硬質の本体310には、集合的に312として指名される複数のS字形の貫通スロット(または、「開口部」)が製作され、これらの

40

50

スロットは、弾性的に硬質の本体 310 を貫いて延在する。細長い開口部は、応力が加えられていない状態にあるときに、弾性的に硬質の本体 310 に存在する。加えて、集合的に 314 として指名される複数の楕円形の突出部（または、「ディンプル」）が、弾性的に硬質の本体 310 の表面から突出する。隆起した突出部だけを含まれて示されているが、オーセチック構造 300 は、1 つ以上の隆起した突出部と 1 つ以上の窪んだ突出部とを有して作製されてもよい。

**【0028】**

S 字形の貫通スロット 312 が、行と列とに（例えば、第 1 のアレイまたはマトリクスに）配置され、同様に、楕円形の突出部 314 が、行と列とに（例えば、第 2 のアレイまたはマトリクスに）配置される。図 3 の実施形態では、S 字形の貫通スロット 312 の行は、楕円形の突出部 314 の行に挟まれる（例えば、完全にスロットから成る行が、上側および下側で完全に突出部から成る行に隣接され、その逆も同様である）。さらに、前述の行のそれぞれが、垂直に配向されたスロット / 突出部と水平に配向されたスロット / 突出部とを繰り返す。例えば、垂直に配向された各スロットは、その左手側および右手側で、水平に配向されたスロットに隣接され、一方で、垂直に配向された各突出部は、その左手側および右手側で、水平に配向された突出部に隣接される。この配置によれば、第 1 の複数の突出部およびスロットが、それらの長軸をアレイの行に平行にして配置され、一方で、第 2 の複数の突出部およびスロットが、それらの長軸をアレイの列と平行にして配置される。

**【0029】**

図示された開口部および突出部のパターンは、既定の孔隙率（例えば、約 0.3 から 9 %）を提供するとともに、巨視的で平面的な負荷条件下で（例えば、シートの平面に引張または圧縮が適用されたときに）、確定された負のポアソン比（例えば、約 -0.5 から -0.7）を呈示する。例えば垂直軸に沿ってオーセチック構造 300 が延伸されると、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、隣接する 2 つのポイドに隣り合った隣接する 2 つのディンプルで構成され得る。各セルは、そのすぐ隣のセルの方向とは反対の方向に回転する。この回転は、構造を Y 方向に延伸させることが構造を X 方向に延伸させるように、水平方向に隣り合ったセル間の X 方向距離を増大させる。開口部は、既定の孔隙率および既定のアスペクト比を含む（第 1 の）特別設計された幾何学的特性を有し、一方、突出部は、既定の深さおよび既定のアスペクト比を含む（第 2 の）特別設計された幾何学的特性を有し、この幾何学的特性は、巨視的な応力および歪み負荷の下で所定の NPR 挙動を得るために、NPR 特徴密度およびセル配置を含む開口部 - 突出部パターンの（第 3 の）特別設計された幾何学的特性と協調するように構成される。

**【0030】**

単位セルの形状および鮮明度に関してディンプルおよびポイドの配向を変化させることも、本開示の範囲および精神に含まれる。例として、他の潜在的な単位セルの組成には、図 5 に見られるように 4 つの頂点のそれぞれに位置するポイドと中心にあるディンプルとでまたは各頂点に位置するディンプルと中心にあるポイド形状とで各単位セルが構成される方形単位セル、図 6 に見られるように 6 つの頂点のそれぞれに位置するディンプルと中心にあるポイド形状とでまたは頂点に位置するポイドと中心にあるディンプルとで各単位セルが構成される六角形単位セル、および、図 7 に見られるように形状の境界線に沿って配置されたポイドおよびディンプルの組合せによる多角形単位セルが含まれる。単位セルは、モザイク模様とされ得る任意の形状をとることができる。さらに、ディンプルとポイドとの間隔は、図 9 に見られるようにポイドがディンプルの頂部または側部に現れることを含めて、図 8 に見られるように増減されてもよい。代替的なディンプル形状と組み合わせ使用される代替的なポイド形状も想定される。いくつかの任意選択のポイド形状には、例えば、楕円形、円形、樽形、I 字形、S 字形、および Z 字形の貫通スロットが含まれる。いくつかの任意選択のディンプル形状には、楕円形、半球形（hemispherical、semispherical）、I 字形、S 字形等が含まれる。

## 【 0 0 3 1 】

ディンプル形状を生成するために多くの方程式を使用することができ、一例が以下に提供される。ここで、 $a$  および  $b$  が、 $f(x, y) = 0$  平面における楕円面のアスペクト比を制御する。ディンプルの深さは、 $\delta$  によって制御される。面外曲率は、 $\alpha$  および  $\beta$  によって制御される。単一のディンプルは、

【数 1】

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

10

に制限される

【数 2】

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

20

により生成され得る。

ディンプルは、内向き / 外向きのディンプルの組合せであってもよく、または、全てが平面から同じ方向に出ていてもよい。

## 【 0 0 3 2 】

所望の機械的挙動もしくは所望の冷却挙動、またはその両方を得るために、また、幾何学的要求を満たすために、任意の数の混成ディンプル - ボイドオーセチックシートが積み重ねられてもよい。あるいは、所望の挙動を得るために、混成オーセチックシートが平坦なまたは湾曲したシートと組み合わせられてもよく、または、混成ディンプル - ボイドシートと平坦な / 湾曲したシートとの組合せが、統合されてもよい。多孔質のオーセチック特徴と無孔のオーセチック特徴との混成物を使用することの利点は、それぞれを個別に使用することと比較して、より広い孔隙率の範囲に合わせた設計が可能になることである。いくつかの無孔のオーセチック構造は、孔隙率 0% の適用法のみを対象とし得る。パターン化ボイド構造は、比較的高い孔隙率において応力軽減に対する最上の便益を与える。これらの 2 種類のオーセチック構造を組み合わせることにより、より低い孔隙率のために設計しながらも、応力軽減に対する便益を実現することができる。

30

## 【 0 0 3 3 】

開示された構成のいずれかにとって有利な適用法は、ボイドが冷却空気を提供し、ディンプルが流れの乱流を増大させる、衝突噴流冷却式ライナ (impingement effusion cooled liner) におけるものであり得る。この適用法は、注意深く設計された機械的挙動および改善された冷却方式により分応力を軽減することができるので、現在の技術の状況に優る改善を提示する。金属打ち抜きによりディンプルを形成し穴あけ加工 (例えば、レーザ穴あけ加工) によってボイドを作り出すことなどの、開示された例示的な実施形態を製造するいくつかの可能な方法が存在する。実施形態はまた、精密さが得られる理由からインベストメント鑄造法などを介して鑄造されてもよく、または、焼結もしくは 3D 印刷を介して作製されてもよい。特定の用途の場合、ディンプル - ボイドオーセチック構造が、特定の構成要素の必要とされる孔隙率、幾何形状、および温度プロファイルに合わせて最適化され得る。

40

## 【 0 0 3 4 】

図 4 には、細長い対称な突出部および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 400 で指名された混成ディンプル - ボイドオーセチック構造の別の例が示

50

されている。外観に違いはあるが、オーセチック構造400は、他のオーセチック構造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、本明細書で開示されるオーセチック構造のいずれかは、他の開示された実施形態と、特徴、選択肢、代案を共有し得る。例えば、図3に示されたオーセチック構造300と同様に、図4のオーセチック構造400は、そのうちのいくつかは412として標識されているS字形の貫通スロット/開口部と、そのうちのいくつかは414として標識されている隆起した楕円形の突出部/ディンプルとを含む、弾性的に硬質の本体410（例えば、多結晶合金および/または単結晶合金のシート材料）を備える。図3に提示された構成と同様に、図4のS字形の貫通スロット412および楕円形の突出部414は、方形アレイ、または行および列から成るマトリクスに配置される。対照的に、各行および各列は、楕円形の突出部414と交互に配置されたS字形の貫通スロット412を含む。例えば、垂直に配向された各ディンプル414は、水平に配向されたスロット412により4つの側面において隣接され、一方で、水平に配向された各スロット412は、垂直に配向されたディンプル414により4つの側面において隣接される。この配置によれば、突出部の短軸は、アレイの行に平行し、開口部の短軸は、アレイの列に平行する。したがって、開口部の長軸は、アレイの列に平行し、一方で、突出部の長軸は、アレイの列に平行する。

10

20

30

40

50

#### 【0035】

図5～7は、対称な突出部および細長いスロットの交互パターンを利用する、それぞれ500、600、および700として指名された混成ディンプル-ボイドオーセチック構造の追加的な例を提供する。上記のように、オーセチック構造500、600、700は、上述のオーセチック構造などの他のオーセチック構造に関連して説明された特徴、選択肢、および代案の任意のものを含み得る。これらのオーセチック構造500、600、700は、それぞれ、S字形の貫通スロット/開口部512、612、712、ならびに隆起した半球形の突出部/ディンプル514、614、および714を有してそれぞれ作製された、弾性的に硬質の本体510、610、および710を備える。図5では、S字形の貫通スロット512および半球形の突出部514は、方形単位セルの繰返しのまたはモザイク式のパターンに配置されており、各単位セルは、4つの隅部のそれぞれに配置されたスロット512と、4つのスロット512の中心にある突出部514とで構成される。対照的に、図6のオーセチック構造610は、六角形単位セルの繰返しのまたはモザイク式のパターンに配置されたS字形の貫通スロット612および半球形の突出部614を備え、各単位セルは、6つの隅部のそれぞれに配置された突出部614と6つの突出部614の中心にあるスロット612とで構成される。それに対し、図7は、六角形単位セルの繰返しのまたはモザイク式のパターンを用い、各セルは、セルの周囲に沿って配置されたスロット712および突出部714とセルの中心にあるスロット712との組合せを備える。

#### 【0036】

図8および9には、対称な突出部および対称な開口部の交互パターンを利用する、それぞれ800および900として指名された混成ディンプル-ボイドオーセチック構造の他の例が示されている。オーセチック構造800、900のそれぞれは、円形の開口部（または「穿孔」）812および912、ならびに隆起した半球形の突出部（または「ドーム」もしくは「ディンプル」）814および914を有してそれぞれ作製された、弾性的に硬質の本体810および910を備える。図8のオーセチック構造800は、方形単位セルのパターンに配置された円形の穿孔812および半球形のディンプル814を有して設計されており、各単位セルは、4つの隅部のそれぞれに配置されたディンプル814と4つのディンプル814の中心にある穿孔812とで構成される。対照的に、図9のオーセチック構造910は、方形単位セルのパターンに配置された穿孔912およびディンプル914を有して特別設計されており、各単位セルは、4つの隅部のそれぞれに配置されたディンプル914と各ディンプル914の中心を貫通する穿孔912とで構成される。

#### 【0037】



本開示の態様はまた、オーセチック構造を製造する方法、およびオーセチック構造を使用する方法を対象とする。例として、図3～9に関連して上述されたオーセチック構造などのオーセチック構造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の弾性的に硬質の本体310などの弾性的に硬質の本体を用意するステップと、弾性的に硬質の本体を貫いて延在する図2Bの楕円形のスロットおよび図3の細長いS字形のスロットなどの複数の開口部を弾性的に硬質の本体に付加するステップであって、開口部が行および列から成るアレイに配置されるステップと、弾性的に硬質の本体の表面から突出する図3の突出部または図5の半球形の突出部などの複数の突出部を弾性的に硬質の本体に付加するステップであって、突出部が行および列から成るアレイに配置されるステップと、を含む。開口部は、既定の孔隙率を提供するとともに応力または歪み下で負のポアソン比(NPR)挙動を呈示するように、突出部 - 例えば、図3～9に示された特別設計されたパターンのいずれかで配置される - と協調するように構成される。

10

#### 【0038】

次に図10の流れ図を参照すると、オーセチック構造を特別設計しかつ作製する改善された方法が、本開示の態様に従って全体的に1000で説明されている。図10は、開示される概念に関連する上記または下記の機能のいずれかまたは全てを実行するために例えばコンピュータ援用設計(CAD: computer aided design)システム、応力計算および/または流量計算のための有限要素(FE: finite element)システム(または類似のもの)、および/またはコンピュータ自動化製造(CAM: computer automated manufacturing)システムによって実行され得る命令を含む、アルゴリズムまたはワークフロー図を表すものであり得る。方法1000は、図面のうちの図1～9に示された様々な態様および特徴を参照しながら説明されるが、そのような参照は、純粹に説明および明確化のために提供される。

20

#### 【0039】

方法1000は、ブロック1001から始まり、所望のオーセチック構造の適用法のための一連の所定の設計要件に対する設計値を受け取る。これらの設計要件には、いくつかの非限定的な例として、外部負荷要件、熱減衰要件等が含まれ得る。場合により、ブロック1003において、方法1000は、NPR挙動を取り入れることで恩恵を受け得る構成要素の所定の設計要件に対する受け取った設計値から、利用可能なNPR構造の適用法にその適用法が適しているかどうかを判定する。例えば、意図された適用法が、熱応力主導型であるか、変位制御された負荷条件下で機能するか、かつ/または必要とされるNPR値に対する所定の値を有する場合に、適用法は、「NPRに適した適用法」と考えられ得る。オーセチック構造の適用法がNPRに適していないと判定された場合(1003=いいえ)、方法は、従来の設計が利用されるブロック1005に続く。

30

#### 【0040】

所望の適用法が実際にNPRに適していることがブロック1003において判定された場合(ブロック1003=はい)、方法は、ブロック1007および/またはブロック1009に続く。適用法の主要な設計要件が構造のための特定の必要とされる負のポアソン比(NPR)値である場合、ワークフローは、ブロック1007に進む。必要とされるNPR値は、スロット設計パラメータおよびディンプル設計パラメータをオーセチック構造に適応させることにより、ブロック1009において調整され得る。例えば、NPR挙動を呈示する開示されたオーセチック構造形状のいずれかは、ポイド特徴のアスペクト比および/または孔隙率を適応させることにより(一般に、より高いアスペクト比および/またはより高い孔隙率は、より負のPRを意味する)、または、適切なディンプル特性を選択することにより(一般に、より楕円形であることおよび/または険しさが少ないことは、より負のPRを意味する)、ポアソン比を調整するために適用され得る。所与の構成要素幾何形状のための正確な挙動を決定するために、パラメータ研究が用いられ得る。

40

#### 【0041】

あるいは、主要な設計要件が、目標とされた孔隙率値および/または剛性値である場合

50

、ワークフローはブロック1011に進む。示された例によれば、ブロック1011はまた、受け取った設計値から、オーセチック構造のための必要とされる剛性を決定するステップを含み得る。ブロック1011において実施される判断は、場合により、必要とされる構成要素孔隙率が高いのか中位なのかゼロなのかを判定するステップと、必要とされる剛性が高いのか中位なのかゼロなのかを判定するステップとを必要とし得る。ブロック1013に示されるように、必要とされる構成要素孔隙率がゼロかまたはゼロに近くかつ/または必要とされる剛性が比較的高い場合、方法は、ブロック1015に示されるように、オーセチック構造が主にまたは単にNPRディンプルを備えるように、オーセチック構造の弾性的に硬質の本体へのNPRスロットの付加を減少するかまたは排除する。反対に、ブロック1017に示されるように、必要とされる構成要素孔隙率が比較的高く（例えば、おおよそ9.0%）かつ/または必要とされる剛性が比較的低い場合、方法は、ブロック1019に示されるように、オーセチック構造が主にまたは単にNPRスロットを備えるように、オーセチック構造の弾性的に硬質の本体へのNPRディンプルの付加を減少するかまたは排除する。しかし、ブロック1021に示されるように、必要とされる構成要素孔隙率が中位（例えば、0%を超えるが9%未満）でありかつ/または必要とされる剛性が中位であると判定された場合、方法は、ブロック1023に示されるように、相補的な数のNPRディンプルとNPRスロットとを弾性的に硬質の本体に付加する。

10

20

30

40

50

#### 【0042】

図10を続けて参照すると、ブロック1025は、ブロック1007および1011において確認された必要とされるNPR値および必要とされる構成要素孔隙率に少なくとも部分的に基づいて、オーセチック構造のNPRスロットのためのスロット設計パラメータ、オーセチック構造のNPRディンプルのためのディンプル設計パラメータ、ならびにスロットおよびディンプルのための単位セル配置を決定するステップを含む。スロット設計パラメータは、NPRスロットの形状、NPRスロットのサイズ、NPRスロットのアスペクト比等を、単独でまたは任意の組合せで含む。この関連で、ディンプル設計パラメータは、NPRディンプルの形状、NPRディンプルのサイズ、NPRディンプルの深さ等を、単独でまたは任意の組合せで含む。比較すると、単位セル配置は、スロットおよびディンプルのためのパターン、間隔、比率、またはそれらの任意の組合せを含む。いくつかのパターン設計規則は、NPRスロットの回転およびディンプルの平面内への変位からNPR挙動が得られることを考慮することを必要とし得る。したがって、少なくともいくつかの実施形態に対しては、上述のパラメータが、所望の応力特性および冷却性能特性を得るためにこの挙動を制御するように選択されることが望ましい。最小限の険しさを有する円形のディンプルは、楕円形のディンプルまたは険しさの強いディンプルよりも低いピーク応力を有する傾向がある。

#### 【0043】

次いで、方法1000はブロック1027に進み、このブロック1027では、選択されたディンプル（例えば、半球形、楕円形等）および選択された貫通スロット（例えば、楕円形、S字形、I字形等）のパターンが、オーセチック構造の弾性的に硬質の本体の（上部）表面上に展開される。場合により、ブロック1029において、弾性的に硬質の本体へのスロットおよびディンプルの付加に先立って、スロット設計パラメータ、ディンプル設計パラメータ、および単位セル配置が分析される。この分析は、何らかの変化が必要とされているのかどうかを判定するために、費用モデル、減衰モデル、冷却モデル、および/または応力モデルを利用し得る。修正が必要な場合、ブロック1031において繰返しが実行され、次いで方法1000はブロック1025に戻る。そうでない場合、方法1000はブロック1033に進み、ブロック1033では、選択されたNPRスロットおよびディンプルが、決定されたスロット設計パラメータ、ディンプル設計パラメータ、および単位セル配置に従って、弾性的に硬質の本体に付加される。

#### 【0044】

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追加すること、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。前述の方法はオーセチック構造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ることが期待される。

【0045】

本開示の態様は、いくつかの実施形態では、コンピュータによって実行されるソフトウェアアプリケーションまたはアプリケーションプログラムと一般に呼ばれる、プログラムモジュールなどの、コンピュータ実行可能な命令のプログラムを通じて実装され得る。ソフトウェアは、非限定的な例では、特定のタスクを実行するかたまたは特定の抽象データ型を実施する、ルーチン、プログラム、オブジェクト、コンポーネント、およびデータ構造を含み得る。ソフトウェアは、コンピュータが入力供給元に従って反応することを可能にするインターフェースを形成し得る。ソフトウェアはまた、受信データの供給元と関連して受信されるデータに回答して様々なタスクを開始するために、他のコードセグメントと協働し得る。ソフトウェアは、CD-ROM、磁気ディスク、バブル記憶装置、および半導体記憶装置（例えば、様々なタイプのRAMまたはROM）などの、様々な記憶媒体の任意のものに保存され得る。

10

【0046】

さらに、本開示の態様は、ハンドヘルドデバイス、多重プロセッサシステム、マイクロプロセッサを基礎とするまたはプログラム可能な大衆消費電子製品、ミニコンピュータ、汎用コンピュータ等を含む、様々なコンピュータシステムおよびコンピュータネットワークの構成で実施され得る。さらに、本開示の態様は、通信ネットワークを通じてリンクされる遠隔処理デバイスによりタスクが実行される、分散型コンピュータ環境で実施されてもよい。分散型コンピュータ環境では、プログラムモジュールは、記憶貯蔵デバイスを含む局部および遠隔の両方のコンピュータ記憶媒体に配置され得る。したがって、本開示の態様は、コンピュータシステムまたは他の処理システムにおいて、様々なハードウェア、ソフトウェア、またはそれらの組合せに関連して実装され得る。

20

【0047】

特定の機能を実行しかつ互いに相互作用する様々なモジュールまたはブロックまたはステップを有するものとして本明細書において例示されかつ論じられたアルゴリズムは、純粹に例示および説明のために提供されたものであることが、留意されるべきである。これらのモジュールは、説明のためにそれらの機能に基づいて分離されているに過ぎず、コンピュータハードウェア、および/または適切なコンピュータハードウェアでの実行のためにコンピュータ可読媒体に保存され得る実行可能ソフトウェアコードを表し得ることが、理解されるべきである。様々なモジュールおよびユニットの種々の機能は、ハードウェア、および/または上記のような非推移的なコンピュータ可読媒体に保存されるソフトウェアとして、任意の態様でモジュールとして結合または分離されてもよく、別々にまたは組合せで使用されてもよい。

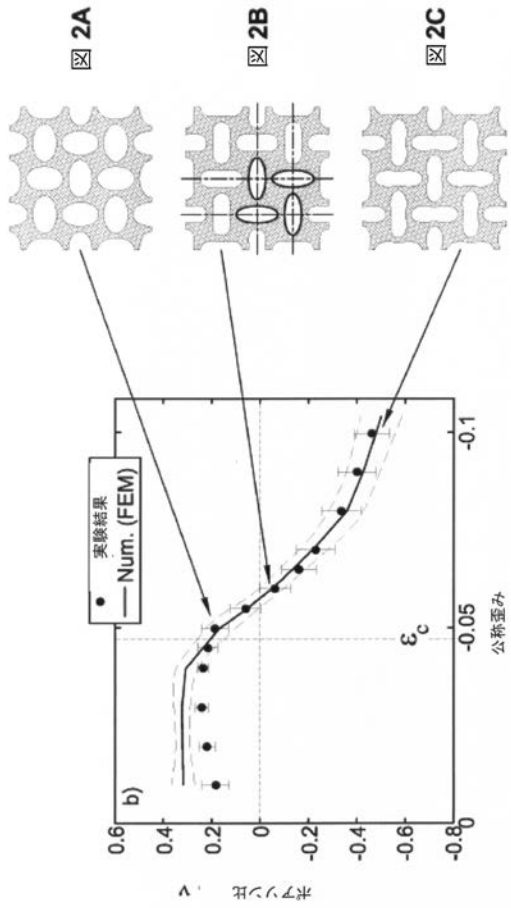
30

【0048】

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。

40

【 図 1 】



【 図 3 】

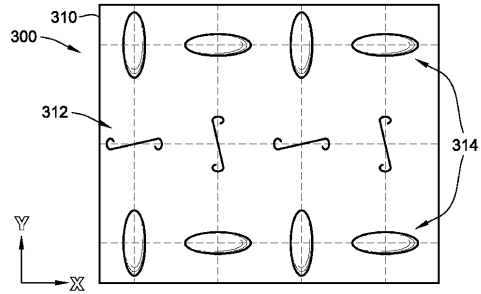


FIG. 3

【 図 4 】

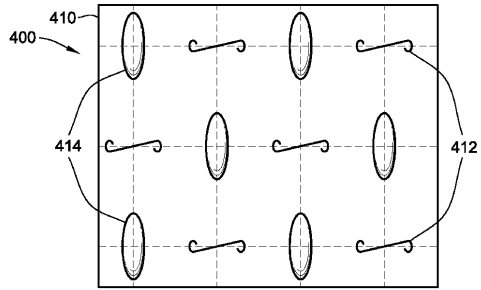


FIG. 4

【 図 5 】

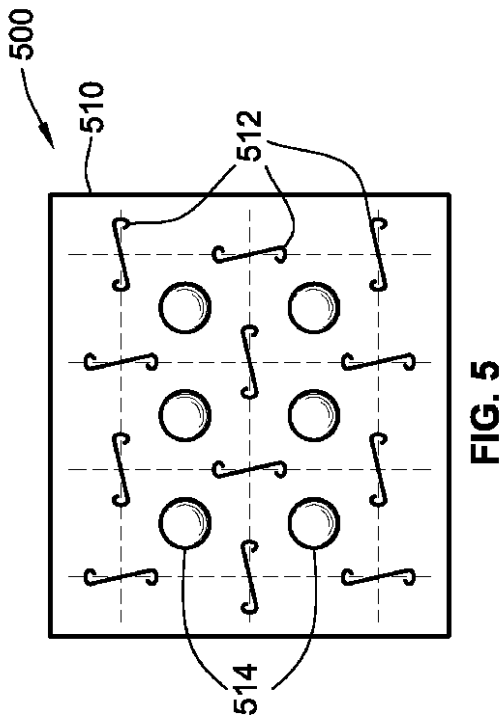


FIG. 5

【 図 6 】

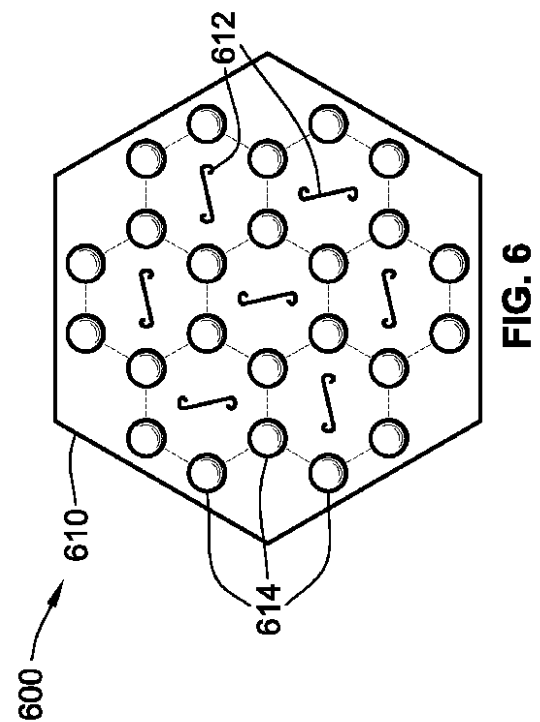
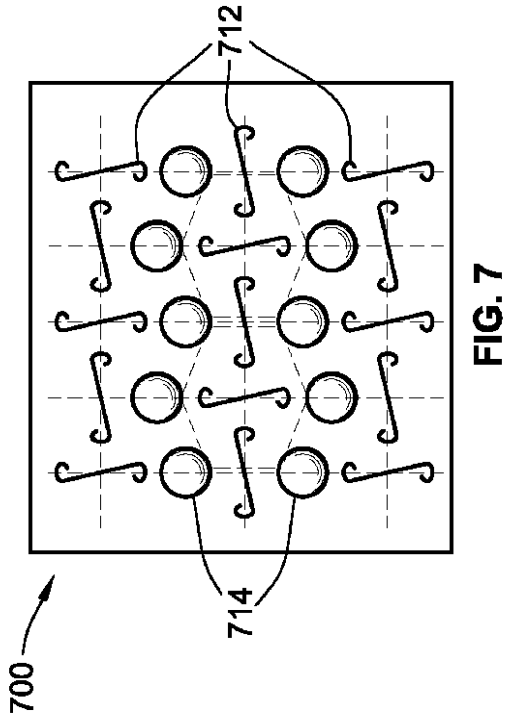
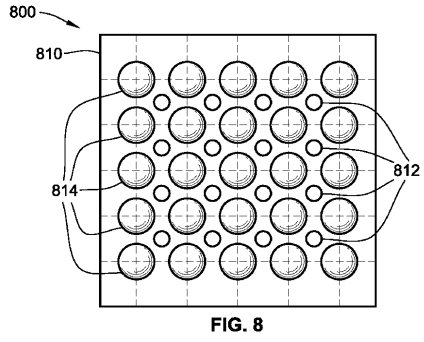


FIG. 6

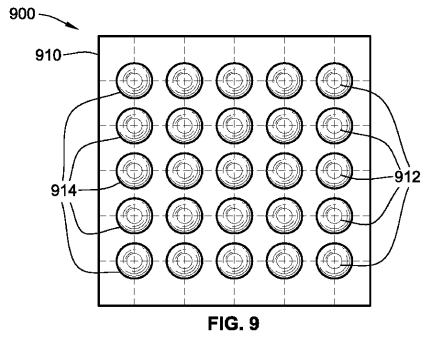
【 図 7 】



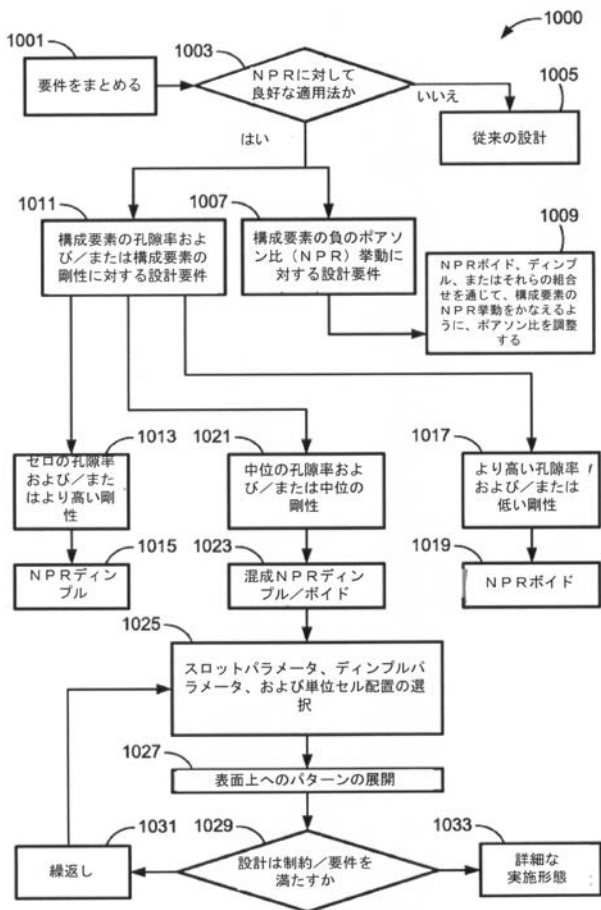
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US2016/012768															
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC(B) - B32B 3/10 (2016.01) CPC - B32B 3/10; C08J 5/18 (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(B) - A41D 31/00; B32B 3/10, 3/12, 3/24, 3/26, 5/18, 7/02; C08J 5/18 (2016.01) CPC - A41D 31/00; B32B 3/10, 3/12, 3/26, 5/18, 7/02; C08J 5/18; F23R 3/002; Y10T 428/24314 (2016.02) Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched USPC - 264/171.1; 428/136 (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: auxetic, negative poisson's ratio, NPR, elastic, rigid, rows, columns, array, dimple, sphere, void, hole, aperture, cavity, metal, load, sheet, protrusion, depression																	
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Category*</th> <th style="width: 70%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width: 20%;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>US 2012/0021167 A1 (PLANT) 26 January 2012 (26.01.2012) entire document</td> <td>1-51</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2014/151045 A1 (PRESIDENT AND FELLOWS OF HARVARD COLLEGE et al) 25 September 2014 (25.09.2014) entire document</td> <td>1-51</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2011/0059291 A1 (BOYCE et al) 10 March 2011 (10.03.2011) entire document</td> <td>1-51</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2014/197059 A1 (PRESIDENT AND FELLOWS OF HARVARD COLLEGE et al) 11 December 2014 (11.12.2014) entire document</td> <td>1-51</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	A	US 2012/0021167 A1 (PLANT) 26 January 2012 (26.01.2012) entire document	1-51	A	WO 2014/151045 A1 (PRESIDENT AND FELLOWS OF HARVARD COLLEGE et al) 25 September 2014 (25.09.2014) entire document	1-51	A	US 2011/0059291 A1 (BOYCE et al) 10 March 2011 (10.03.2011) entire document	1-51	A	WO 2014/197059 A1 (PRESIDENT AND FELLOWS OF HARVARD COLLEGE et al) 11 December 2014 (11.12.2014) entire document	1-51
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.															
A	US 2012/0021167 A1 (PLANT) 26 January 2012 (26.01.2012) entire document	1-51															
A	WO 2014/151045 A1 (PRESIDENT AND FELLOWS OF HARVARD COLLEGE et al) 25 September 2014 (25.09.2014) entire document	1-51															
A	US 2011/0059291 A1 (BOYCE et al) 10 March 2011 (10.03.2011) entire document	1-51															
A	WO 2014/197059 A1 (PRESIDENT AND FELLOWS OF HARVARD COLLEGE et al) 11 December 2014 (11.12.2014) entire document	1-51															
<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 14 April 2016		Date of mailing of the international search report <b>03 MAY 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 Blaine R. Copenheaver PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774															

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US2016/012768

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

- 1.  Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
- 2.  Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
- 3.  Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:  
See supplemental page

- 1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
- 2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
- 3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
- 4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:  
1-51

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US2016/012768

Continued from Box No. III Observations where unity of invention is lacking

This application contains the following inventions or groups of inventions which are not so linked as to form a single general inventive concept under PCT Rule 13.1. In order for all inventions to be examined, the appropriate additional examination fees need to be paid.

Group I, claims 1-51 are drawn to an auxetic structure.

Group II, claims 52-63 are drawn to a method of fabricating an auxetic structure

The inventions listed in Groups I-II do not relate to a single general inventive concept under PCT Rule 13.1, because under PCT Rule 13.2 they lack the same or corresponding special technical features for the following reasons:

The special technical features of Group I, an auxetic structure comprising a plurality of apertures, the plurality of apertures being arranged in a first array of rows and columns, a plurality of protrusions, the plurality of protrusions being arranged in a second array of rows and columns, wherein the plurality of apertures is cooperatively configured with the plurality of protrusions exhibiting a negative Poisson's Ratio (NPR) behavior under macroscopic planar loading conditions, are not present in Group II; and, the special technical features of Group II, a method of fabricating an auxetic structure comprising receiving design values for predetermined design requirements of the auxetic structure, determining a maximum allowable stress value, and determining a unit cell arrangement, are not present in Group I.

Groups I and II share the technical features of an auxetic structure comprising an elastically rigid body, a plurality of apertures/slots, a plurality of protrusions/dimples, and a porosity.

However, these shared technical features do not represent a contribution over the prior art. Specifically, US 2012/0021167 A1 to Plant teaches of an auxetic structure (Para. [0088] regarding auxetic) comprising an elastically rigid body (Fig. 8; Para. [0002] regarding an energy absorbing material which is both lightweight and flexible...while still being able to dissipate and absorb shock loads), a plurality of apertures/slots (see apertures in Fig. 8 at section B-B), a plurality of protrusions/dimples (see upper and lower protrusions in Fig. 8 at section B-B; see also Fig. 9 where protrusions curve up and down at top most and lower most surface), and a porosity (see Figs. 8 and 9, where the structure is provided with a porous structure).

Since none of the special technical features of the Groups I-II inventions are found in more than one of the inventions, unity is lacking.



## 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, 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, 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 517243013

ゲレーロ ファビアン エンリケ サンチェス  
カナダ ケベック モントリオール リュ バージェット 729 #379

(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 350 アpartment 1510

(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 ユッテ フランソワ - シャビエル

カナダ ケベック ロンゲール ル サン - トマ 575 101

(72) 発明者 ファム ミン クァン

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partment 416

(72) 発明者 ゲレーロ ファビアン エンリケ サンチェス

カナダ ケベック モントリオール リュ バージェット 729 #379

(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 350 アpartment 1510

(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partment 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 AB01A AB01B AB31 BA02 BA21 DC11A DC12A DD03B EJ33 GB51

JA02 JK07A JK07B JK08