

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6196461号  
(P6196461)

(45) 発行日 平成29年9月13日 (2017.9.13)

(24) 登録日 平成29年8月25日 (2017.8.25)

(51) Int. Cl.

F I

F 4 1 H 5/04 (2006.01)

F 4 1 H 5/04

B 3 2 B 5/28 (2006.01)

B 3 2 B 5/28

A

請求項の数 6 外国語出願 (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2013-86429 (P2013-86429)  
 (22) 出願日 平成25年4月17日 (2013.4.17)  
 (65) 公開番号 特開2013-224816 (P2013-224816A)  
 (43) 公開日 平成25年10月31日 (2013.10.31)  
 審査請求日 平成28年4月14日 (2016.4.14)  
 (31) 優先権主張番号 13/450,823  
 (32) 優先日 平成24年4月19日 (2012.4.19)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 500520743  
 ザ・ボーイング・カンパニー  
 The Boeing Company  
 アメリカ合衆国、60606-2016  
 イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイ  
 ド・プラザ、100  
 (74) 代理人 100109726  
 弁理士 園田 吉隆  
 (74) 代理人 100101199  
 弁理士 小林 義敦  
 (72) 発明者 コーザー, マイケル ピー.  
 アメリカ合衆国 ワシントン 98040  
 , マーサー アイランド, 93番 ア  
 ヴェニュー サウスイースト 4105

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 長手方向に形状が可変である繊維を有する複合品

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マトリックス (18) と、  
 マトリックス (18) に埋め込まれた複数の繊維 (22) と、を備え、  
繊維 (22) の各々が、繊維長 (34) と、繊維形状 (32) と、を有し、  
繊維形状 (32) が、繊維長 (34) に沿って変化し、  
繊維形状 (32) が、繊維長 (34) に沿って変化する断面形状を有し、  
繊維 (22) が、横並びの構成に配置されて層 (20) を形成しており、  
層 (20) 内の繊維 (22) の少なくとも一部が、一連の第 1 の部分と第 2 の部分と  
らなっており、  
繊維 (22) の一つの第 2 の部分が、層 (20) 内の繊維 (22) のうち直接隣接する  
繊維の第 1 の部分と少なくとも部分的に入れ子になるように、繊維 (22) が構成されて  
いる、複合品。

【請求項 2】

繊維形状 (32) が、繊維長 (34) に沿って変化する断面積を有する、請求項 1 に記  
 載の複合品。

【請求項 3】

繊維 (22) が繊維長 (34) に沿って延びる長手軸を有し、  
長手軸に対する繊維 (22) の断面積の重心の位置が、繊維長 (34) に沿った異なる  
位置において変化する、請求項 1 または 2 に記載の複合品。

## 【請求項 4】

繊維（２２）が、不透明及び光学的に実質的に透明のうちの少なくとも一方であり、且つ

マトリックス（１８）が、不透明及び光学的に実質的に透明のうちの少なくとも一方である、請求項 1 ないし 3 のいずれか一項に記載の複合品。

## 【請求項 5】

請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の複合品の製造方法であって、  
マトリックス（１８）に繊維（２２）を埋め込むステップを含む方法。

## 【請求項 6】

さらに、

繊維（２２）を横並びの構成に構成して層（２０）を形成するステップであって、繊維（２２）の各々が、第 1 の部分によって分離された一連の第 2 の部分を有するステップと

層（２０）内の繊維（２２）の一つの第 2 の部分が、層（２０）内の繊維（２２）のうち直接隣接する繊維の第 1 の部分と少なくとも部分的に入れ子になるように、繊維（２２）を配置するステップと

を含む請求項 5 に記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、概して複合部品に関し、具体的には、弾道性能及び光学性能を改善させた繊維強化複合品に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

複合構造は、典型的には、繊維を埋め込んで強化したマトリックスから構成される。複合構造は、典型的には、繊維の長さに沿って荷重を伝達するように設計される。一の繊維からの荷重は、マトリックス材を通過することにより、同じ層内の別の繊維に移動するか、又は隣接する層内の繊維に移動する。しかしながら、通常マトリックスは繊維より弱い  
ため、マトリックスを通過して一の繊維から別の繊維へ伝達される荷重が大きすぎると、マトリックスが破壊される。マトリックスが破壊されると、複合構造内で繊維が移動可能となる。

## 【0003】

複合パネルが弾丸による衝撃を受ける弾道事象の間に、繊維がマトリックス内部で移動可能であることは、複合パネルの弾道性能に影響を与えうる。例えば、マトリックス内の繊維が移動であることは、弾丸の貫通に対する複合パネルの耐性に影響を与えうる。透明な複合パネルの場合、マトリックスに対して繊維が移動することは、複合パネルの光学性能にも影響を与えうる。これに関して、弾道事象の間にマトリックスに対して繊維が移動することは、弾丸の衝撃によって光学性能が低下する領域の大きさに影響を与えうる。

## 【0004】

したがって、従来技術には、マトリックス内における繊維の移動を制御することにより複合構造の弾道性能及び光学性能を改善した複合構造に対する需要が存在する。

## 【発明の概要】

## 【0005】

本発明は、複合品に関連した上記需要に特に対処してそれに応えるものであり、一実施形態において、マトリックスと、マトリックスに埋め込まれた複数の繊維を有する複合品を提供する。繊維の一つ一つは、繊維長と繊維形状を有する。繊維の少なくとも一部の繊維形状は、繊維長に沿って変化しうる。

## 【0006】

さらなる実施形態では、複合品の製造方法が開示される。この方法は、各々が繊維長と繊維形状とを有する複数の繊維を提供するステップを含む。方法は、さらに、繊維の少な

10

20

30

40

50

くとも一部について、繊維長に沿って繊維形状を変えるステップを含む。方法は、加えて、マトリックス中に繊維を埋め込むステップを含む。

【0007】

さらには、ビークルの複合パネルのような複合品の装着方法が開示される。この方法は、各々が繊維長と、繊維長に沿って変化する繊維形状とを有する複数の繊維がマトリックスに埋め込まれた複合品を提供することを含む。方法は、静的装着条件を満たす第1の状態複合品を配置することを含みうる。方法は、さらに、動的装着条件を満たす第2の状態複合品を配置することを含みうる。

【0008】

有利には、繊維形状の変化により、繊維とマトリックスとの機械的連結が向上する。さらに、繊維形状の変化により、隣接する繊維間の機械的連結が向上する。繊維形状の変化によって提供される機械的連結は、マトリックスに対する繊維の移動を制御する手段となりうる。機械的連結は、直接隣接する繊維のすべり又は移動を制御する手段となりうる。

【0009】

繊維のすべりを制御することは、繊維の、衝撃事象に関与する繊維長の部分を制御する手段となりうる。衝撃事象に関与する繊維の長さを制御することにより、繊維のエネルギー吸収能が向上し、これにより、弾丸による衝撃に対する複合品の弾道性能及び/又は光学性能が向上する。

【0010】

上述のフィーチャ、機能及び利点は、本発明の様々な実施形態において独立して達成可能であるか、又は他の実施形態において組み合わせることができる。これらの実施形態について、後述の説明及び添付図面を参照してさらに詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

【0011】

本発明の上述のフィーチャ及び他のフィーチャは、添付図面からさらに明らかとなる。図面を通して、同様の参照番号は同様の部品を示す。

【0012】

【図1】マトリックスと、マトリックスに埋め込まれた複数の繊維とを含む一実施形態による複合品の斜視図である。

【図2】図1の複合品の分解斜視図であり、繊維からなる複数の層を示している。

【図3】図1の複合品の一部の拡大斜視図であり、マトリックス内部の繊維層の構成を示し、さらには繊維の各々の長さに沿った繊維形状の変化を示している。

【図4】図3に示す層の一つの上面図であり、繊維長に沿った繊維形状の変化を示している。

【図5A】図4の繊維の一つの上面図であり、一連の第1の部分と第2の部分とを含む繊維形状の変化を示している。

【図5B】図5Aから取った繊維の側面図であり、繊維の概ね平坦な断面形状を示している。

【図5C】図5Aから取った繊維の断面図であり、第1の部分の一つの第1の断面形状を示している。

【図5D】図5Aから取った繊維の断面図であり、第2の部分の一つの第2の断面形状を示している。

【図6A】別の実施形態による、繊維中に開口を有する繊維の上面図である。

【図6B】図6Aから取った繊維の側面図であり、繊維の概ね平坦な断面形状を示している。

【図6C】図6Aから取った繊維の断面図であり、断面積を有する繊維の第1の断面形状を示している。

【図6D】図6Aから取った繊維の断面図であり、図6Cの断面積とほぼ同じ総断面積を有する繊維の第2の断面形状を示している。

【図7A】別の実施形態による、一連の第1の部分と第2の部分とを含む繊維の上面図で

10

20

30

40

50

ある。

【図 7 B】図 7 A から取った繊維の断面図であり、第 1 の部分の一つの第 1 の断面形状を示している。

【図 7 C】図 7 A から取った繊維の断面図であり、第 2 の部分の一つの第 2 の断面形状を示している。

【図 8 A】別の実施形態による、蛇行形状を有する繊維の上面図である。

【図 8 B】図 8 A から取った繊維の側面図であり、繊維の概ね平坦な断面形状を示している。

【図 8 C】図 8 B から取った繊維の断面図であり、繊維の断面重心が繊維の長手軸の一方の側からずれている断面形状を示している。

10

【図 8 D】図 8 B から取った繊維の断面図であり、断面重心が図 8 C に示す断面重心とは反対の長手軸の側からずれている断面形状を示している。

【図 9 A】繊維長に沿って延びる一連の突出部を有する、別の実施形態による繊維の上面図である。

【図 9 B】図 9 A から取った繊維の側面図であり、繊維の上面及び下面から延びる突出部を示している。

【図 9 C】図 9 B から取った繊維の断面図であり、突出部の一つの位置における第 1 の断面形状を示している。

【図 9 D】図 9 B から取った繊維の断面図であり、突出部間の領域における繊維の第 2 の断面形状を示している。

20

【図 10 A】繊維長に沿って延びる一連の大きな突出部と小さな突出部を有する、別の実施形態による繊維の上面図である。

【図 10 B】図 10 A から取った繊維の側面図であり、繊維の上面と下面からそれぞれ延びる大きな突出部と小さな突出部を示している。

【図 10 C】図 10 B から取った繊維の断面図であり、大きな突出部の一つの位置における断面形状を示している。

【図 10 D】図 10 B から取った繊維の断面図であり、小さな突出部の一つの位置における断面形状を示している。

【図 11 A】別の実施形態による、らせん形状に形成された繊維の上面図である。

【図 11 B】図 11 A から取った繊維の側面図であり、らせん形状を示している。

30

【図 11 C】さらに別の実施形態による、ツイストを繰り返す形状に形成された繊維の上面図である。

【図 11 D】図 11 C から取った繊維の側面図であり、ツイストを繰り返す形状を示している。

【図 12 A】別の実施形態による、断面形状を直交させた一連の第 1 の部分と第 2 の部分とを含む繊維の上面図である。

【図 12 B】図 12 A から取った繊維の側面図であり、第 1 の部分と第 2 の部分とを示している。

【図 12 C】図 12 B から取った繊維の断面図であり、第 1 の部分の一つの位置における第 1 の断面形状を示している。

40

【図 12 D】図 12 B から取った繊維の断面図であり、第 2 の部分の一つの位置における第 2 の断面形状を示している。

【図 13 A】別の実施形態による、第 1 の材料から形成される繊維コアと、第 2 の材料から形成される一連の立方体状の第 2 の部分とを有する繊維の上面図である。

【図 13 B】図 13 A から取った繊維の側面図であり、一連の立方体状の第 2 の部分を通る繊維コアを示している。

【図 13 C】図 13 B から取った繊維の断面図であり、第 1 の材料から形成される繊維コアを示している。

【図 13 D】図 13 B から取った繊維の断面図であり、第 2 の材料から形成される立方体状の第 2 の部分の一つを示している。

50

【図 1 4 A】別の実施形態による、第 1 の材料から形成される繊維コアと、第 2 の材料から形成される一連の球状の第 2 の部分とを有する繊維の上面図である。

【図 1 4 B】図 1 4 A から取った繊維の断面図であり、第 1 の材料から形成される繊維コアを示している。

【図 1 4 C】図 1 4 A から取った繊維の断面図であり、第 2 の材料から形成される球状の第 2 の部分の一つを示している。

【図 1 5】半周期的に変換する繊維形状を有する繊維の側面図である。

【図 1 6】隣接する層の繊維に対して直角に配置された繊維を有する層からなる複合品の一部の斜視図である。

【図 1 6 A】図 1 6 の複合品の端面図であり、交互層に含まれる繊維の第 2 の部分が、隣接する層の第 1 の部分と概ね整列している様子を示している。

【図 1 6 B】図 1 6 の複合品の端面図であり、繊維に垂直力が加わることにより、層内で一方向に向く繊維が隣接する層内で異なる方向（例えば直交方向）に向く繊維と係合する様子を示している。

【図 1 7】試験品の側面図であり、試験品の正面に激突する弾丸を示している。

【図 1 8】図 1 7 の試験品の背面図であり、繊維 - マトリックス間の連結、及び / 又は繊維 - 繊維間の連結が比較的小さい場合に、試験品の正面に対する弾丸の衝撃に応答して、繊維が比較的大きな面積にわたって局所的及び全体的に影響を受ける様子を示している。

【図 1 9】試験品の背面図であり、図 1 8 に示す実施形態に対し、繊維 - マトリックス間の連結、及び / 又は繊維 - 繊維間の連結の量を増大させることにより、繊維の局所的及び全体的に影響の面積が縮小する様子を示している。

【図 2 0】第 1 の層、第 2 の層、及び複合品を含む層系の斜視図である。

【図 2 1】図 2 0 の層系の分解斜視図である。

【図 2 2】複合品の製造方法に含まれる一又は複数の工程を示すフロー図である。

【図 2 3】一又は複数の実施形態による複合品を包含する航空機の斜視図である。

【図 2 4】複合品の使用法の一実施形態を示すフロー図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

ここで、本発明の好適な種々の実施形態を例示することを目的とする図面を参照する。図 1 は複合品 10 を示している。複合品 10 は、マトリックス 18 と、マトリックス 18 内部に埋め込まれた複数の繊維 22 とを含む繊維強化複合パネル 14 として製作される。有利には、繊維 22 は、繊維 22 の長さに沿って変化する繊維形状 32 を備える。繊維 22 の繊維長 34 に沿った繊維形状 32 の変化は、繊維 22 とマトリックス 18 との間の機械的連結（例えば、繊維 - マトリックス間の連結）を促進する。繊維 22 の繊維長 34 に沿った繊維形状 32 の変化は、同一層 20 内において隣接する繊維 22 間の機械的連結、及び / 又は異なる層 20 内における繊維 22 間の機械的連結も促進することができる。

【0014】

繊維 - マトリックス間の機械的連結は、マトリックス 18 に対する繊維 22 の移動又はすべりを制御する手段を提供する。繊維 - 繊維間の機械的連結は、繊維 - 繊維間の移動又はすべりを制御する手段を提供する。繊維 22 の長さに沿って繊維形状 32 を変化させることにより、繊維長 34 の、衝撃事象に関与する部分を制御することができる。有利には、繊維長 34 に沿って繊維形状 32 を変化させることにより、複合品 10 に激突又は進入する弾丸を減速させる能力が向上する。

【0015】

繊維 22 とマトリックス 18 との間のすべりの量は、複合品 10 に弾丸が入った距離又は深さの関数として、繊維 22 の破壊を制御する手段にもなりうる。これに関して、本発明は、有利には、各繊維 22 の、弾丸事象に関与する長さ部分を制御するか、又は選択的に増加させることにより、各繊維 22 中の引張りずみを分散させる繊維 22 の長さを増加させることができるという技術的效果を提供する。繊維 22 の、弾丸事象に関与する長さ部分を制御する（例えば、増加させる）ことにより、衝撃事象の間に繊維 22 によって吸

10

20

30

40

50

収される総エネルギー量を制御する（例えば、増大させる）ことができる。これに関して、繊維 22 中の引張荷重は、繊維 22 が最大ひずみ値に達するときの繊維 22 の早期破損を防ぐ手段として制御可能である。

#### 【0016】

さらに、繊維長 34 に沿って繊維形状 32 を選択的に変化させることにより、繊維が弾道衝撃事象に関与する時間の量を制御する手段として繊維 22 の相対的な移動を制御することができる。繊維が弾道衝撃事象に関与する時間の量は、弾丸を減速させて繊維 22 によって吸収されうる弾丸エネルギーの量を増加させるために繊維 22 が有する時間の量の増加に相関しうる。マトリックス 18 に対する、及び互いに対する繊維 22 のすべりを制御することは、さらに、適切な最大ひずみ値及び / 又は適切なひずみ速度応答を有する材料から繊維 22 を形成することにより、影響を受けるか、又は改善する。これについては後述でさらに詳細に説明する。これに関して、繊維 22 は、繊維 22 の破壊を防ぐとともに弾丸による複合品 10 の貫通に抵抗する又は貫通を防止する最大ひずみを有する材料から形成することができる。

#### 【0017】

図 1 は、表面 12 を有する複合品 10 を示している。複合品 10 は、パネル表面 16 と、マトリックス 18 内部に埋め込まれた複数の繊維 22 とを含む複合パネル 14 として形成されている。繊維 22 は、マトリックス 18 の構造強化として機能し、複合品 10 の機械性能及び弾道性能を向上させることができる。これに関して、繊維 22 は、繊維 22 の引張強さ、及び目標弾性係数（例えば、剛性）を高める結果として複合品 10 の特定の剛性を調整する構造強化を提供する。本明細書では、強度、ひずみ、及び剛性といった特性は、動的特性又は高ひずみ速度特性の観点から記載される。

#### 【0018】

図 2 は、図 1 の複合品 10 又は複合パネル 14 の分解図であり、複数の層 20 を示している。層 20 の各々において、繊維 22 は、横並び 70 の構成に配置されている。各繊維 22 は、繊維長 34 と長手軸 36 とを有している。各層 20 内の繊維 22 の繊維形状 32 は、繊維長 34 に沿って変化している。繊維形状 32 は、断面積 38 及び断面形状 40 から構成され、それらの一方又は両方は、繊維長 34 に沿って変化することができる。各層 20 内の繊維 22 は互いに概ね整列しており、所与の層 20 内の繊維 22 の長手軸 36 はほぼ平行である。しかしながら、本明細書に記載される実施形態のいずれにおいても、繊維 22 は、マトリックス内において織物層（図示しない）に組み込むことができ、層内において互いに横並びに整列した関係に限定されることも、層内において互いにほぼ平行な関係に限定されることもない。さらに、ここに開示される繊維 22 の実施形態のいずれもが、マトリックスを有さないファブリック（図示しない）において実施することができ、この場合、繊維 - 繊維の連結により、本明細書に記載したものと同様に、弾丸によるファブリックの貫通抵抗に関する利点を提供される。

#### 【0019】

一実施形態では、一の層 20 内の繊維 22 の長手軸 36 の方向は、直接隣接する層 20 内の繊維 22 の長手軸 36 に対して角度を有している。例えば、図 2 には、一の層 20 内の繊維 22 の長手軸 36 が、それに直接隣接する層 20 内の繊維 22 の長手軸 36 に対して直角である様子が示されている。しかしながら、隣接する層 20 の繊維 22 の長手軸 36 は、複合品 10 の所望のプライの積み重ねに応じて、互いにどのような角度に配向されてもよい。

#### 【0020】

図 3 は、図 2 の複合品 10 の部分拡大図であり、複数の層 20 を示している。層 20 の各々は、繊維長 34 に沿って変化する繊維形状 32 を有する繊維 22 を含んでいる。図示のように、層 20 は、直接隣接する層 20 の繊維 22 に対して任意の方向に配向されうる繊維 22 を含む。例えば、図 3 には、一の層 20 の繊維 22 が、直接隣接する層 20 の繊維 22 に対して直角に配向されている交差プライ構成が示されている。図 3 は、複合品 10 の非限定的な一実施形態を示しているのであって、マトリックス 18 内部における繊維

２２の代替的構成を制限しているのではない。例えば、層２０内の繊維２２は、図３に示すように、他の層２０内の繊維２２に対して直角に配向されても、垂直でない方向（例えば、１５度、２２．５度、４５度、６０度、７５度など）に配向されてもよい。

#### 【００２１】

図４は、繊維２２の繊維長３４に沿った繊維形状３２の変化を示す繊維２２からなる層２０の上面図である。繊維２２の繊維形状３２は、繊維長３４に沿った所与の位置における繊維２２の断面積３８（図３）、及び／又は繊維長３４に沿った所与の位置における繊維２２の断面形状を特徴とする。しかしながら、繊維形状３２は、限定しないが、繊維２２の第１の部分５２と繊維２２の第２の部分５４との間の遷移の形状を含む他のパラメータを特徴としてもよい。例えば、繊維形状３２は、図４に示すような、第１の部分５２と第２の部分５４との間の、丸みを帯びた遷移、又は半径が滑らかに変化する遷移を特徴とすることができる。異なる構成では、形状は、図１２Ａ～１２Ｄの実施形態に示して後述するような、比較的はっきりとした繊維、又は急激な遷移を特徴とすることができる。

#### 【００２２】

図４では、繊維形状３２は、繊維長３４に沿って周期的５８に変化している。これに関して、繊維２２は、間にほぼ均一な間隔を置いてほぼ一様に分散された一連の第２の部分５４を含むことができる。二つの第２の部分は、それぞれ第１の部分５２によって分離されている。繊維形状３２の周期的５８な構成は、繊維長３４に沿って反復されるほぼ類似した繊維形状３２からなる。本明細書には、繊維長３４に沿って周期的５８に変化する繊維形状３２が記載されているが、繊維２２は半周期的６４に（図１５）変化する繊維形状３２を具備してもよい。例えば、繊維２２の第２の部分間の間隔が次第に又は漸次増加又は減少するというように、隣接する二つの第２の部分５４の間隔が次第に大きくなるか、又は次第に小さくなるように、繊維形状３２を変化させることができる。加えて、繊維形状３２は、繊維２２の繊維長３４の任意の部分に沿って反復式に変化させてもよい（例えば、図１５）。繊維形状３２は、繊維超３４に沿って非周期的に、又はランダムに（図示しない）構成してもよい。

#### 【００２３】

図４では、各繊維２２はほぼ同様に構成されている。繊維２２はそれぞれ側面３０を有し、隣接する繊維２２との間に空隙７２が形成されるように構成されている。空隙７２の各々は、繊維２２がマトリックス１８内部に埋め込まれると実質的にマトリックス１８材で充填される。繊維２２の繊維長３４に沿った繊維形状３２の変化は、繊維２２とマトリックス１８との間の機械的連結を向上させる。加えて、図４に示すように、繊維２２は、繊維２２の第２の部分５４が隣接する繊維２２の第１の部分５２と少なくとも部分的に入れ子７４になるように構成することができる。有利には、繊維２２の少なくとも部分的な入れ子関係により、繊維２２の機械的連結（例えば、繊維－繊維の連結）が向上する。上述のように、繊維２２の機械的連結は、繊維－繊維間のすべり又は移動を低減することができる。これにより繊維長３４の、弾道事象に関与する部分を制御する手段が提供される。これに関して、繊維－繊維間のすべりが低減すると、弾道事象に関与する繊維２２の量が増大しうる。弾道事象に関与する繊維２２の量が増大すると、繊維２２の全体的なエネルギー吸収能が増大し、これにより、上述のように、複合品１０の弾道性能及び／又は衝撃後光学性能が向上しうる。

#### 【００２４】

図５Ａは、図４の繊維２２の上面図である。図示の実施形態では、繊維形状３２の変化は、繊維長３４に沿って第１の部分５２と第２の部分５４とが周期的５８に変化することからなっている。長手軸３６に関してほぼ対称な構成を有するように図示されているが、長手軸３６の一方の側の繊維２２の構成が長手軸３６の反対側の繊維２２の構成と異なる非対称な構成（図示しない）を有する繊維形状３２も考慮可能である。繊維２２は、繊維長３４に沿った任意の位置における繊維２２の最大幅と定義される繊維幅４４を有する。本明細書に開示される繊維の実施形態のいずれにおいても、図示の繊維形状は分り易く示すために誇張されているか、又は誇張されていない。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 5 】

図 5 B は、図 5 A の繊維 2 2 の側面図である。繊維 2 2 は概ね平坦な構成を有し、繊維長 3 4 に沿ってほぼ一定な繊維厚 4 2 を定義する互いにほぼ平行な上面 2 6 と下面 2 8 とを有している。繊維 2 2 の繊維厚 4 2 は、繊維幅 4 4 に垂直に測定されたものと定義される。一実施形態においては、繊維 2 2 の上面 2 6 と下面 2 8 とは、互いに平行でなくともよい。

## 【 0 0 2 6 】

図 5 C は、図 5 A の繊維 2 2 の第 1 の部分 5 2 の断面である。繊維形状 3 2 (図 5 A) は、断面積 3 8 及び断面形状 4 0 (図 3) を有している。図 5 C では、繊維 2 2 の第 1 の部分 5 2 は第 1 の断面積 3 8 a と、長方形の第 1 の断面形状 4 0 a とを有している。長方形の断面形状は、短軸 8 6 と長軸 8 8 とを有している。図 5 D は、第 2 の断面積 3 8 b と、長方形である第 1 の断面形状 4 0 a に類似の第 2 の断面形状 4 0 b とを有する第 2 の部分 5 4 (図 5 A) を示している。これに関して、図 5 A ~ 5 D は、繊維長 3 4 (図 5 A) に沿って断面積 3 8 が可変であり、繊維長 3 4 に沿って断面形状 4 0 がほぼ一定 (例えば、長方形) である繊維 2 2 (図 5 B) の一実施形態を表している。図 5 A の繊維 2 2 の繊維長 3 4 に沿った断面積 3 8 が変化するのは、長軸 8 8 に沿って長方形の断面形状 4 0 のアスペクト比が増大するためである。図 5 A ~ 5 D に示す繊維 2 2 の実施形態は、面内方向内での (例えば、層内での) 繊維 - 繊維間の機械的連結を促進する。

## 【 0 0 2 7 】

図 6 A は、別の実施形態による繊維 2 2 の一つの上面図であり、繊維 2 2 は第 1 の部分 5 2 と第 2 の部分 5 4 とを交互に含んでいる。第 2 の部分 5 4 は、繊維 2 2 を少なくとも部分的に又は完全に貫通する穴又はスロットのような開口 6 6 を含んでいる。有利には、繊維 2 2 の第 2 の部分 5 4 は、繊維長 3 4 に沿って、繊維 2 2 の第 1 の部分 5 2 の断面形状が繊維 2 2 の第 2 の部分 5 4 の断面形状に対して変化するように構成される。加えて、図 6 A に示す実施形態では、繊維 2 2 の第 2 の部分 5 4 の断面積は、繊維 2 2 の第 1 の部分 5 2 の断面積とほぼ等しい。繊維 2 2 の荷重担持能 (例えば、引張荷重) は、繊維 2 2 の長さに沿った任意の地点における最小断面積の荷重担持能に限定される。図 6 A では、繊維 2 2 の最小断面積は第 1 の部分 5 2 に位置している。第 2 の部分 5 4 の断面積を第 1 の部分 5 2 の断面積にほぼ等しく制限することにより、繊維 2 2 の断面積の拡大に関連付けられる重量ペナルティがあったとしても、それは最小化される。

## 【 0 0 2 8 】

図 6 B は、図 6 A の繊維 2 2 の側面図である。繊維 2 2 は、図 5 A ~ 5 D の実施形態の繊維 2 2 について上述したように、概ね平坦な構成を有している。これに関して、図 6 A ~ 6 D に示される繊維 2 2 は、繊維長 3 4 に沿ってほぼ一定の繊維厚 4 2 を有している。しかしながら、一実施形態では、一定でない厚みを有する繊維 2 2 が使用されうる。

## 【 0 0 2 9 】

図 6 C は、図 6 A の繊維 2 2 の第 1 の部分 5 2 の断面である。第 1 の部分 5 2 における繊維形状 3 2 は、第 1 の断面積 3 8 a を取り囲む、斜線の長方形部により表された第 1 の断面形状 4 0 a からなる。図 6 D は、第 2 の断面積 3 8 b と第 2 の断面形状 4 0 b とを有する第 2 の部分 5 4 を示している。第 2 の断面形状 4 0 b は、二つの斜線領域の間の開口 6 6 によって分割された繊維 2 2 の概ね長方形の形状である。第 2 の部分 5 4 の第 2 の断面形状 4 0 b は、一对の斜線領域からなる総面積を含む。図 6 D に示す一对の斜線部の総面積は、図 6 C の斜線部の面積にほぼ等しい。これに関して、図 6 A ~ 6 D は、繊維 2 2 の断面積 3 8 が繊維長 3 4 (図 6 A) に沿ってほぼ一定であり、断面形状が繊維長 3 4 に沿って可変であるように構成された多数の繊維実施形態の一つを示している。

## 【 0 0 3 0 】

図 7 は、繊維長 3 4 に沿って変化する繊維形状 3 2 を有する繊維 2 2 の一実施形態を示している。繊維形状 3 2 は、互いに交互に並ぶ一連の第 1 の部分 5 2 と第 2 の部分 5 4 とからなっている。図では、第 1 の部分 5 2 及び第 2 の部分 5 4 は、繊維長 3 4 に沿って周期的 5 8 に配置されている。しかしながら、上述のように、繊維形状 3 2 は、図 1 5 に示

して後述するように、半周期的 6 4 に構成されてもよい。繊維形状 3 2 は、非周期的に変化するように構成されてもよい。

#### 【 0 0 3 1 】

図 7 B に示すように、繊維 2 2 は、繊維 2 2 の第 1 の部分 5 2 ( 図 7 A ) を表す円形状の第 1 の断面積 3 8 a と第 1 の断面形状 4 0 a とを有している。図 7 C は、やはり円形状の第 2 の断面積 3 8 b と第 2 の断面形状 4 0 b とを有する繊維 2 2 の第 2 の部分 ( 図 7 A ) を示している。図 7 A ~ 7 C は、繊維長 3 4 ( 図 7 A ) に沿って変化する断面積 3 8 ( 図 7 C ) と、繊維長 3 4 に沿ってほぼ一定の断面形状 4 0 とを有する繊維 2 2 の一実施形態を示している。図 7 B ~ 7 C における断面積 3 8 の変化は、円形の断面形状 4 0 の大きさの、半径方向に一定の増加又は拡大によるものである。

10

#### 【 0 0 3 2 】

一実施形態では、繊維 2 2 の第 2 の部分 5 4 ( 図 7 A ) の第 2 の断面積 3 8 b ( 図 7 C ) は、第 1 の部分 5 2 ( 図 7 A ) の第 1 の断面積 3 8 a ( 図 7 B ) より、第 1 の部分の約 5 0 % 未満だけ大きくすることができる。しかしながら、第 1 の部分の第 1 の断面積 3 8 a より、第 1 の部分の約 5 0 % を超える分だけ大きい第 2 の部分 5 4 の第 2 の断面積 3 8 b を有する繊維 2 2 が供給される実施形態も可能である。本明細書では、各第 2 の部分 5 4 の第 2 の断面積 3 8 b は、第 1 の部分 5 2 又は繊維コア 5 0 ( 図 7 A ) の第 1 の断面積 3 8 a を包含、包囲、又は他の方法で含む。上述のように、繊維 2 2 の荷重担持能 ( 例えば、引張荷重 ) は、第 1 の部分 5 2 に位置する繊維 2 2 最小断面の荷重担持能によって決定される。第 2 の部分 5 4 の大きさを制限することにより、繊維 2 2 の荷重を担持しない

20

#### 【 0 0 3 3 】

有利には、図 7 A ~ 7 C に示す繊維 2 2 の実施形態は、面内方向 ( 例えば、層内 ) における繊維 - 繊維間の機械的連結と、面外方向 ( 例えば、層間 ) における繊維 - 繊維間の機械的連結とを促進することができる。図示しないが、繊維 2 2 の面外の機械的連結は、一の層 2 0 内の繊維 2 2 の第 2 の部分 5 4 を、直接隣接する層 2 0 内の繊維 2 2 の第 1 の部分 5 2 と入れ子にすることにより促進される。

#### 【 0 0 3 4 】

図 8 A は、蛇行形状 7 8 2 を有する繊維 2 2 の一実施形態の上面図である。繊維 2 2 は、繊維長 3 4 に沿った複数の異なる位置 3 9 において長手軸 3 6 からずれた断面積 3 8 を有している。一実施形態では、繊維 2 2 の繊維幅 4 4 は、繊維長 4 5 に沿って概ね一定とすることができるが、繊維長 3 4 に沿って概ね可変の繊維幅 4 4 をもたせることもできる。図 8 B に示すように、繊維 2 2 は、ほぼ一定の繊維厚 4 2 を規定する互いにほぼ平行な上面 2 6 と下面 2 8 とを有する。しかしながら、上述のように、一実施形態による繊維 2 2 においては、繊維表面 2 4 の一又は複数の、互いに平行でなくともよい。一実施形態では、図 8 A に示される複数の繊維 2 2 は、横並びの構成 ( 図示しない ) に配置されて、繊維 2 2 のずれ 7 6 が少なくとも部分的に互に入れ子状になっていることにより繊維 - 繊維間の連結が提供される層を形成している。

30

#### 【 0 0 3 5 】

図 8 C は、繊維 2 2 の長方形の断面積 3 8 を示す繊維 2 2 ( 図 8 B ) の断面図である。断面積 3 8 は、繊維 2 2 の長手軸 3 6 ( 図 8 C ) の一方の側又は両側にずれ 7 6 についてよい面積重心 4 8 を規定している。図 8 D は、繊維 2 2 のさらなる断面図であり、図 8 C に示される断面重心 4 8 のずれ 7 6 に対し、長手軸 3 6 の一方の側にずれ 7 6 ている断面重心 4 8 を有する繊維 2 2 の長方形の断面積 3 8 を示している。図 8 A ~ 8 D の繊維 2 2 は、繊維長 3 4 に沿って、ほぼ一定の断面積 3 8 と、ほぼ一定の断面形状 4 0 ( 図 8 C ) を有している。ずれ 7 6 は、長手軸 3 6 のそれぞれの側で互い違いに繊維長 3 4 に沿って周期的 5 8 ( 図 8 A ) であるが、長手軸 3 6 の対向する側で、上述のように、半周期的又は非周期的でもよい。さらに、ずれ 7 6 は、図 8 C ~ 8 D に示すような一方向、例えば長軸 8 8 に沿ったずれ 7 6 に限定されず、短軸 8 6 方向を含む一又は複数の様々に異なる方向、或いは様々に異なる方向のいずれか一つにずれていてよい。

40

50

## 【 0 0 3 6 】

図 9 A は、繊維長 3 4 に沿って形成されたほぼ等しい大きさ及び構成の一連の突出部 8 1 を有する繊維 2 2 の一実施形態の上面図である。図示の突出部 8 1 は、長手軸 3 6 に沿って概ねセンタリングされている。しかしながら、突出部 8 1 は、長手軸 3 6 に対してどのような位置に設けてもよい。図示の繊維 2 2 は、ほぼ直線上の側面 3 0 を有しているが、繊維 2 2 は、限定しないが、図 8 A に示すような蛇行形状 7 8 などの任意の形状、或いは他のいずれかの形状を有することができる。

## 【 0 0 3 7 】

図 9 B は、図 9 A の繊維 2 2 の側面図であり、繊維長 3 4 に沿ってほぼ一定の繊維厚 4 2 を示している。図示の突出部 8 1 は、繊維 2 2 の上面 2 6 と下面 2 8 の両方から交互に延びている。しかしながら、突出部 8 1 は、上面 2 6 及び下面 2 8 の一方のみに形成してもよい。或いは、突出部 8 1 は、上面 2 6 及び下面 2 8 上に、交互以外のパターンで（図示しない）形成されてもよい。図示の実施形態では、突出部 8 1 の各々が、繊維 2 2 の外側に向かって開口する空洞部 8 4 を随意で含むことができることにより、突出部 8 1 は、繊維 2 2 を含む複合品 1 0（図 4）の総重量を低減する穴を有することができる。

## 【 0 0 3 8 】

図 9 C は、二つの突出部 8 1 の間の繊維 2 2 の部分に沿って取られた繊維 2 2 の断面図である。斜線部によって示されるように、繊維形状 3 2 は、長方形に形成された第 1 の断面形状 4 0 a によって規定される第 1 の断面積 3 8 a を有している。図 9 D は、突出部 8 1 の一つを通る繊維 2 2 の断面図である。図示の位置における繊維形状 3 2 は、第 2 の断面積 3 8 b と、アーチ形状に形成された第 2 の断面形状 4 0 b とを有している。第 2 の断面積 3 8 b は、第 1 の断面積 3 8 a（図 9 C）より大きくすることができる。突出部 8 1 は、マトリックス 1 8（図 4）との機械的連結を促進することができる。加えて、図示しないが、繊維 2 2 の一の層 2 0 に含まれる突出部 8 1 は、直接隣接する層 2 0 の繊維 2 2（図 4）に含まれる突出部 8 1 の空洞部 8 4（図 9 B）と入れ子になるような大きさ及び構成を有することができる。突出部 8 1 のこのような入れ子状態は、面外方向の（例えば、層 2 0 間の）機械的連結を促進することができ、これによって弾道事象に關与する繊維 2 2 の量が増加する。

## 【 0 0 3 9 】

図 1 0 A は、繊維長 3 4 に沿って形成された一連の大きな突出部 8 2 と小さな突出部 8 3 とを有する、一実施形態による繊維 2 2 の上面図である。図 1 0 B は、上面 2 6 上に形成された大きな突出部 8 2 と、下面 2 8 上に形成された小さな突出部 8 3 とを示す繊維 2 2 の側面図である。図 1 0 C は、大きな突出部 8 2 の一つを通る繊維 2 2 の断面図であり、斜線部は、アーチ状に形成された第 1 の断面積 3 8 a を表している。図 1 0 D は、小さな突出部 8 3 の一つを通る繊維 2 2 の断面図であり、斜線部は、アーチ状に形成された第 2 の断面積 3 8 b を表している。繊維 2 2 の上面 2 6 及び下面 2 8 に異なる大きさの突出部を設けることにより、マトリックス 1 8 及び / 又は他の繊維 2 2 との間に異なるレベルの機械的連結が提供される。

## 【 0 0 4 0 】

図 1 1 A ~ 1 1 B は、螺旋形状 8 0 に形成された繊維 2 2 の一実施形態を示している。繊維形状 3 2 は、長軸 8 8 を有する断面形状 4 0 を有している。断面形状 4 0 の長軸 8 8 の方向は、繊維長 3 4 に平行な方向に沿って繊維 2 2 を見たとき、繊維長 3 4 に沿って変化する。図示の実施形態では、繊維 2 2 の断面積 3 8 及び / 又は断面形状 4 0 は、繊維長 3 4 に沿ってほぼ一定である。しかしながら、一実施形態による繊維 2 2 においては、断面積 3 8 及び / 又は断面形状 4 0 は、繊維長 3 4 に沿って変化してもよい（図示しない）。図示の実施形態では、長軸 8 8 の方向は、繊維 2 2 を見る方向に応じて、連続的に、例えば時計回りに、又は反時計回りに変化する。図示の繊維 2 2 は、繊維長 3 4 に沿って長軸 8 8 の方向が定率で変化する螺旋形状 8 0 を有している。しかしながら、繊維 2 2 は、長軸 8 8 の方向が可変率で、又はランダムに変化するような構成を有することもできる。長軸 8 8 の方向は、繊維長 3 4 に沿ってツイストを繰り返してもよく（図 1 1 C ~ 1 1 D

10

20

30

40

50

）、螺旋形状 8 0 の、時計回りに定率で変化する方向に限定されない。

#### 【 0 0 4 1 】

図 1 1 C ~ 1 1 D は、ツイストを繰り返す形状 7 9 に形成された繊維 2 2 の一実施形態を示している。繊維形状 3 2 は、繊維長 3 4 に平行な方向に沿って繊維 2 2 を見たとき、長軸 8 8 ( 図 1 1 D ) の方向が繊維長 3 4 に沿ってツイストを繰り返す ( 図 1 1 C ) 断面形状 4 0 を有している。例えば、図示の実施形態では、長軸 8 8 は、繊維長 3 4 に沿って約 9 0 度のツイストを繰り返している。しかしながら、繊維 2 2 は、長軸 8 8 が任意の角度量のツイストを繰り返すように構成してもよい。図 1 1 A ~ 1 1 D の繊維 2 2 の実施形態は、繊維長 3 4 に沿ってほぼ一定の断面積 3 8 を有している。有利には、繊維の負担持能は、通常、繊維の長さに沿った任意の地点における最小断面積の荷負担持能によって規定されるので、図 1 1 A ~ 1 1 D の実施形態による繊維 2 2 の断面積 3 8 がほぼ一定であることにより、別の構成において繊維長に沿う断面積を拡大させた繊維に関連付けられる重量ペナルティが最小化される。

10

#### 【 0 0 4 2 】

図 1 2 A は、繊維長 3 4 に沿ってほぼ一定の断面形状 4 0 と、繊維長に沿って変化する断面積 3 8 とを有する繊維 2 2 の一実施形態の上面図である。図示の繊維 2 2 は、繊維長 3 4 に沿って断面形状 4 0 及び断面積 3 8 が周期的 5 8 に変化するという形で、概ね周期的 5 8 に変化する繊維形状 3 2 を有している。しかしながら、上述のように、繊維 2 2 の断面形状 4 0 及び断面積 3 8 は、半周期的に又は非周期的に変化するように構成してもよい。図 1 2 B は、繊維長 3 4 に沿った繊維形状 3 2 の変化を示す繊維 2 2 の側面図である。図 1 2 C は、第 1 の断面積 3 8 a と、概ね長方形である第 1 の断面形状 4 0 a とを有する繊維 2 2 の断面図である。図 1 2 D は、第 2 の断面積 3 8 b と、概ね正方形である第 2 の断面形状 4 0 b とを有する繊維 2 2 の、繊維長に沿った一地点において取られた断面図である。図示の実施形態では、第 1 の断面積 3 8 a と第 2 の断面積 3 8 b とはほぼ等しい。しかしながら、上述のように、断面積 3 8 は繊維長 3 4 に沿って可変である。

20

#### 【 0 0 4 3 】

図 1 3 A は、第 1 の材料 6 0 と第 2 の材料 6 2 とからなる繊維 2 2 の上面図である。一実施形態では、繊維 2 2 の第 1 の材料 6 0 は、繊維 2 2 の第 1 の部分 5 2 に含まれている。繊維 2 2 の第 1 の部分は、繊維コア 5 0 を含み、繊維 2 2 の長手軸 3 6 に沿って延びている。繊維 2 2 の第 2 の部分 6 2 は、繊維 2 2 の一又は複数の第 2 の部分 5 4 に含まれている。一実施形態では、第 2 の部分 5 4 は、繊維コア 5 0 の上に取り付けられるか、又は他の方法で配置される。図 1 3 B は、繊維 2 2 の長手軸 3 6 沿って取った繊維 2 2 の断面図である。第 1 の材料 6 0 から形成されて、繊維径 4 6 を有する有する繊維コア 5 0 が示されている。さらには、第 2 の材料 6 2 から形成されて繊維コア 5 0 に取り付けられた複数の第 2 の部分 5 4 が示されている。図 1 3 C は、繊維コア 5 0 に沿って取った断面図であり、繊維コア 5 0 の第 1 の断面積 3 8 a と、円形に形成された繊維コア 5 0 の第 1 の断面形状 4 0 a とを示している。

30

#### 【 0 0 4 4 】

図 1 3 D は、繊維 2 2 ( 図 1 3 A ) の第 2 の部分 5 4 に沿って取った断面図である。図示の実施形態では、第 2 の部分 5 4 は、正方形に形成された第 2 の断面形状 4 0 b を有している。一実施形態では、第 2 の部分 5 4 の各々は、第 2 の材料 6 2 からなり、繊維コア 5 0 に取り付けられた ( 例えば、接着された ) 繊維ピース 5 6 として形成される。図では正方形に示されているが、繊維ピース 5 6 は様々な断面形状のいずれか一つを有することができる。例えば、繊維ピース 5 6 は、球、正立方体、直方体、多角形ピース、不規則形状のピース、概ね円形のピース、又は他の様々な大きさ、形状、及び構成のいずれか一つに形成することができる。

40

#### 【 0 0 4 5 】

図 1 4 A ~ 1 4 B は、第 2 の材料 6 2 から形成された球形の繊維ピース 5 6 を有する繊維 2 2 の一実施形態を示しており、このピース 5 6 は、第 1 の材料 6 0 から形成された繊維コア 5 0 に取り付けられている。一実施形態では、繊維ピース 5 6 は、外側の四角形と

50

内側の円形によって画定された斜線部によって表されており、円形内部の斜線部により表される繊維コア50の断面積38より大きな断面積38を有してよい。

【0046】

有利には、少なくとも二つの異なる材料から繊維22を形成することにより、マトリックス18（図4）に対する繊維22の結合の度合いを調節する追加的手段が提供される。例えば、第1の材料60のマトリックス18との相互作用は、第2の材料62とマトリックス18との相互作用とは異なる。これに関して、第1の材料60は、第1の材料60とマトリックス18との間の結合に異なる特性を生じさせることができる。例えば、第1の材料60は、第1の材料60とマトリックス18との接着結合に、第2の材料62とマトリックス18との接着結合の特性とは異なるレベルの強度、剛性、延性、破断点ひずみ、及び他の特性を付与することができる。

10

【0047】

図15は、繊維長34に沿って半周期的64に変化する繊維形状32を有する繊維22の一実施形態を示している。例えば、繊維22は、繊維長34に沿って間隔を空けて位置する第2の部分54の組を含むことができる。第2の部分54の組は、小さな繊維幅44又は繊維径46を有する繊維22のセクションによって分離されており、ほぼ一定の断面積及び/又はほぼ一定の断面形状を有することができる。第2の部分54には、本明細書に開示される構成のいずれか一つを含む様々な異なる断面形状及び断面積のいずれか一つを付与することができる。有利には、第2の部分54の組は、ほぼ一定の間隔によって分離することができるか、又は二つの第2の部分54の組の間隔は可変とすることができる。第2の部分54の大きさと、繊維長34に沿った位置とは、マトリックスに対する繊維22に所望のレベルの機械的連結が提供されるように決めることができる。一実施形態では、第2の部分54は、第2の部分54が取り付けられる小さな径のコア50の材料とは異なる材料から形成される。異なる材料により、繊維22とマトリックス18（図3）との間に異なる相互作用が生じ、繊維22とマトリックス18との間の連結を制御する追加的手段が提供される。

20

【0048】

図15では、繊維形状32の半周期的64な構成は、繊維長34に沿ったマトリックスに対する繊維22の移動を離散的に制御するために調節又は構成可能である。例えば、弾丸の衝撃に起因する複合品10の光学的ひずみの面積を最小化することが望ましい実施形態の場合、第2の部分54の組は、繊維長34に沿って、弾道事象（例えば、弾丸の衝撃）に関与する繊維の範囲を最小化するような間隔で配置することができる。これに関して、第2の部分54の組は、互いに小さな間隔を空けて設けることができる。反対に、弾丸による衝撃の間に複合品10の弾道性能を最大化することが望ましい実施形態の場合、第2の部分54の組は、弾道事象に関与する繊維の範囲を最大化するように、互いに大きな間隔を空けて設けることができる。加えて、第2の部分54の大きさ及び形状は、マトリックスに対する繊維22の移動を離散的に又は定量的に制御するために調節又は構成可能である。

30

【0049】

本明細書に開示される実施形態のいずれにおいても、繊維22の断面形状は、様々な異なる構成のいずれか一つとすることができる。例えば、繊維22の断面形状は、円形、閉じた半円、楕円、腎臓の形、三角形、四角形、長方形、多角形、又は様々な異なる断面形状のいずれか一つとすることができる。さらに、一実施形態の繊維22は、繊維長に沿って二つ以上の異なる断面形状を含むように構成することができる。加えて、繊維22は、いずれかの不規則な又はランダムな断面形状を有することができ、その形状は既知の幾何学的形状に限定されない。繊維22の一又は複数は、ほぼ空洞の構成を有してもよく、すなわち繊維22は中実の構成に限定されない。繊維22は、随意で、互いにほぼ平行な、少なくとも一対の繊維表面24（図5B、6B、8B、9B、10B）を有する断面形状を含むことができる。加えて、繊維22には、ほぼ平坦な表面と湾曲した表面とを組み合わせた断面形状（図示しない）を付与してもよい。

40

50

## 【 0 0 5 0 】

本明細書に開示される実施形態のいずれにおいても、マトリックス 18 (図 4) 及び / 又は繊維 22 (図 4) は、限定しないが、任意の適切な有機又は無機材料、熱可塑性プラスチック材料、熱硬化性材料、及び / 又はガラス材料から形成することができる。例えば、繊維 22 に使用可能な種々の材料のいずれか一つを含むマトリックス 18 及び / 又は繊維 22 は、アクリル、フルオロカーボン、ポリアミド (ナイロン)、ポリエチレン、ポリエステル、ポリプロピレン、ポリカーボネート、ポリウレタン、ポリエーテルエーテルケトン、ポリエーテルケトンケトン、ポリエーテルイミド、延伸ポリマー、及び他のいずれかの適切な熱可塑性プラスチック材料のうちの少なくとも一つを含む熱可塑性プラスチック材料から形成することができる。同様に、繊維 22 に使用可能な種々の材料のいずれか一つを含むマトリックス 18 及び / 又は繊維 22 は、ポリウレタン、フェノール樹脂、ポリイミド、ビスマレイミド、ポリエステル、エポキシ、シルセスキオキサン、及び他のいずれかの適切な熱硬化性材料のうちのいずれか一つを含む熱硬化性材料から形成することができる。加えて、マトリックス 18 及び / 又は繊維 22 は、炭素、炭化ケイ素、ホウ素、又は他の無機材料を含む無機材料から形成することができる。さらには、マトリックス 18 及び / 又は繊維 22 は、限定しないが、E - g l a s s (アルミニウム - ホウケイ酸ガラス)、S - g l a s s (アルミニウム - ケイ酸塩ガラス)、純シリカ、ホウケイ酸ガラス、光学ガラス、セラミックス、ガラスセラミックス、及び他のいずれかのガラス材料を含むガラスから形成することができる。加えて、マトリックス 18 及び / 又は繊維 22 は、少なくとも部分的に金属材料から構成されるか、又は金属材料を含む。

## 【 0 0 5 1 】

一実施形態では、繊維 22 (図 4) は光学的にほぼ透明な繊維材料から形成されるが、繊維 22 は実質的に不透明な材料から形成されてもよい。マトリックス 18 (図 4) は、光学的にほぼ透明な高分子材料、又は実質的に不透明な材料から形成することもできる。本明細書に開示される実施形態のいずれにおいても、繊維 22 は、フィラメントベースの繊維、非フィラメント繊維、ポリ成分繊維、及び他の繊維構成として形成することができる。一実施形態では、繊維 22 は、約三 (3) ミクロン ~ 5000 ミクロンの範囲の繊維厚 42、繊維幅 44、及び / 又は繊維径 46 を有している。例えば、繊維 22 は、約三 (3) ミクロン ~ 100 ミクロンの範囲の繊維厚 42、繊維幅 44、及び / 又は繊維径 46 を有することができる。さらなる実施形態では、繊維厚 42、繊維幅 44、及び / 又は繊維径 46 は、約 20 ミクロン ~ 50 ミクロンの範囲とすることができる。しかしながら、繊維 22 には、3 ミクロンより小さいか、又は 5000 ミクロンより大きな繊維厚 42、繊維幅 44、又は繊維径 46 を付与することができる。

## 【 0 0 5 2 】

複合品 10 (図 4) は、様々に異なる形状、大きさ、及び構成のいずれか一つに構成することができる。これに関して、複合品 10 は、ピークルに関連する、又はピークルに関連しない任意の用途に使用するために構成することができる。例えば、複合品 10 は、航空機のようなピークルの透明シートとして構成することができる。複合品 10 は、航空機の風防、又はキャノピーのいずれかの部分も含むことができる。複合品 10 は、ピークルに関連する、又はピークルに関連しない用途において窓のいずれかの部分に使用するために構成することもできる。さらには、複合品 10 は、限定しないが、膜のいずれかの部分、装甲板、構造パネル、建築パネル、非構造パネル又は非構造品、層系、又は複合品 10 の他の実装態様のいずれかにおいて実施することができるか、或いはそれらに組み込むことができる。

## 【 0 0 5 3 】

図 16 は、マトリックス 18 に埋め込まれた繊維 22 を有する複合品 10 の一部を示しており、図中、繊維 22 は、複数の層 20 において横並び 70 の構成に配置されている。各層 20 内の繊維 22 は、隣接する層 20 内の繊維 22 と直角に方向づけられている。複合品 10 は、一の層 20 内の繊維 22 を、直接隣接する層 20 内の繊維 22 に対して相補的に構成することにより、繊維 22 の係合 92 を促進する。これに関して、繊維 22 が、

第1の部分52と第2の部分54とを交互に含むように、各繊維22の繊維形状32を繊維長34に沿って変化させることができる。複合品10に対してほぼ直角又は斜めに力90(図16B)を加えると、一の層20内の繊維22の第2の部分54は、直接隣接して位置する層20内の繊維22内部において少なくとも部分的に入れ子になる。

【0054】

図16Aは図16の複合品の端面図であり、交互になっている層20内の繊維22が、直接隣接する層20内の繊維22の第1の部分52と概ね整列している様子を示している。各層20内の繊維22は、当初、直接隣接する層20内の繊維の一番上の表面又は一番下の表面により規定される面の上方又は下方に配置される。例えば、図16Aの一番上の層20の繊維22の底面は、直接その下に位置する層20の繊維22の一番上の表面により規定される面の上方に位置している。

10

【0055】

図16Bは、図16Aの複合品10の端面図であり、繊維22に加わる力90を示している。力90は、複合品10に対する弾丸の衝撃に応答して発生する。図示のように、力90は、層20を互いに接近させ、繊維22を直接隣接する層内の繊維22と係合92させる。これに関して、各層20内の繊維22の第2の部分54は、直接隣接する繊維22の第1の部分52と少なくとも部分的にかみ合うか、又は少なくとも部分的に入れ子74状態になる。繊維22の係合92又は入れ子構成は、比較的大きな量の繊維22が弾道事象に関与するように、弾道事象の間に層20の繊維22を機械的に連結することができる。

20

【0056】

本明細書に開示される実施形態のいずれにおいても、繊維長34に沿った繊維22の繊維形状34の変化によるマトリックス18と繊維22の機械的連結(例えば、繊維-マトリックス間の連結)は、複合品10の弾道性能及び/又は光学性能を向上させることができる。加えて、同じ層20内における繊維22の機械的な相互連結と、異なる層20内における繊維22の機械的連結と(例えば、面内の繊維-繊維間の連結と、面外の繊維-繊維間の連結)は、複合品10の弾道性能及び/又は光学性能を向上させる。例えば、複合パネル14のような複合品10が弾丸の衝撃を受ける弾道事象の間に、繊維22が繊維22の長さに沿って長手方向に移動可能であることは、複合パネル14の弾道性能に影響しうる。

30

【0057】

上述のように、マトリックス18内で繊維22がマトリックス18に対して繊維長34に沿って長手方向に移動可能であることにより、繊維22が、破壊される前に長手方向に伸張する能力が向上しうる。繊維22の互いに対する移動又はすべりが可能であることによっても、繊維22が長手方向に伸張する能力が向上しうる。繊維22が長手方向に伸張できることにより、複合パネル14との激突の間の、繊維22の弾丸エネルギー吸収能が増大しうる。繊維22のエネルギー吸収能が増大することにより、弾丸112の貫通に対する複合パネル14の耐性が向上して複合パネル14の弾道性能が向上する。

【0058】

ほぼ透明な複合パネル14の場合、マトリックス18に対する繊維22の移動と互いに対する繊維22の移動も、弾丸激突後の複合パネル14の光学性能に影響しうる。例えば、繊維22のエネルギー吸収能の増大により、衝撃部位116の周辺領域が縮小しうる(図17)。反対に、マトリックス18に対する、及び互いに対する繊維22の移動能を増大させることにより、衝撃後の複合パネル14の光学性能は低下しうる。複合パネル14の衝撃後光学性能の低下は、衝撃部位116の周辺領域の拡大を特徴とする。

40

【0059】

図17は、試験品100の正面104に弾丸112が激突する間の試験品100を示す側面図である。試験品100は、複数の繊維110がマトリックス108内に埋め込まれている複合品10の上述の実施形態(図1)と同様に構築されている。上述のように、繊維110は、繊維110の繊維長34(図4)に沿って変化する繊維形状32(図4)を

50

有することができる。正面 1 0 4 に対する弾丸 1 1 2 の衝撃は、物品表面 1 0 2 の激突部位 1 1 6 に生じる。

【 0 0 6 0 】

図 1 8 は、図 1 7 の試験品 1 0 0 の背面 1 0 6 を示しており、図 1 7 の試験品の正面 1 0 4 に対する弾丸 1 1 2 の激突にตอบสนองして、繊維 - マトリックス間の連結、及び / 又は繊維 - 繊維間の連結が比較的小さいことにより、比較的大きな面積にわたって繊維 1 1 0 が局所的及び全体的に影響を受けている様子を示している。図 1 8 では、繊維 1 1 0 の局所的関与 1 2 2 には、試験品 1 0 0 の反対側（すなわち、正面 1 0 4）の、衝撃部位 1 1 6 を直接取り囲む繊維 1 1 0 の部分が含まれる。図示のように、繊維 1 1 0 の全体的関与 1 2 4 は、衝撃部位 1 1 6 を中心に、衝撃部位 1 1 6 から遠ざかる方向に広がっている。試験品 1 0 0 の正面 1 0 4 に対する弾丸 1 1 2 の激突による全体的関与 1 2 4 が比較的大きな範囲にわたっているのは、繊維 - マトリックス間の連結及び / 又は繊維 - 繊維間の連結が比較的小さいためである。

10

【 0 0 6 1 】

図 1 9 は、試験品の背面図であり、図 1 8 に示す実施形態とは対照的に、繊維 - マトリックス間の連結、及び / 又は繊維 - 繊維間の連結の量を増大させることにより、繊維の局所的及び全体的関与が比較的小さい様子を示している。図 1 9 では、繊維 - マトリックス間の連結、及び / 又は繊維 - 繊維間の連結の量の増大は、繊維の繊維長に沿った繊維形状の変化の大きさを増大させることにより達成されている。繊維 - マトリックス間の連結、及び / 又は繊維 - 繊維間の連結の増大は、図 1 5 に示す半周期的 6 4 な構成において、隣接する第 2 の部分同士の間、又は第 2 の部分の組同士の間隔を小さくすることによって達成してもよい。

20

【 0 0 6 2 】

図 2 0 ~ 2 1 は、複合品 1 0 が、第 1 の層 9 6 及び第 2 の層 9 8 を有する積層形態に取り付けられている層系 9 4 の斜視図である。一実施形態では、第 1 の層 9 6 は、セラミック及び / 又はガラス材料、或いは他の材料から構成され、層系 9 4 の、防弾面（strike face）（図示しない）を含むことができる。第 2 の層 9 8 は、比較的剛性の高い複合層（図示しない）として形成することができ、第 1 の層 9 6 に隣接して取り付けられる。複合品 1 0 は、層系 9 4 の背面又は後ろ側に位置するように、第 2 の層 9 8 を挟んで第 1 の層 9 6 とは反対側に取り付けられる。

30

【 0 0 6 3 】

図 2 0 ~ 2 1 は層系 9 4 の後ろ側に位置する単一の複合品 1 0 を示しているが、任意の数の複合品 1 0 が具備されてよい。さらには、図 2 0 ~ 2 1 には単一の第 1 の層 9 6 と単一の第 2 の層 9 8 とが示されているが、任意の数の複合品 1 0 と組み合わせて任意の数の第 1 の層 9 6 と第 2 の層 9 8 とが具備されてよい。さらには、層系 9 4 は、第 1 の層 9 6 と複合品 1 0 だけを含むように形成してもよい。一実施形態では、層系 9 4 は装甲パネルを含む。しかしながら、層系 9 4 は、限定しないが、任意の物品に組み込むことができ、装甲パネルに限定されない。

【 0 0 6 4 】

第 1 の層 9 6 は、セラミック及び / 又はガラスからなるモノリシックな層といった、好ましくは比較的高い硬度及び剛性を有する材料から構成することができる。しかしながら、第 1 の層 9 6 は、好ましくは比較的高い剛性及び硬度を有する様々に異なる材料で形成することができる。第 1 の層 9 6 は、弾道的用途に使用される防弾面として機能するように構成することができる。例えば、第 1 の層 9 6 は、弾丸による衝撃を受けるように構成することができる。

40

【 0 0 6 5 】

図 2 0 ~ 2 1 に示すように、第 2 の層 9 8 は第 1 の層 9 6 に隣接して位置することができる。第 2 の層 9 8 は、比較的剛性の高い複合層（図示しない）として形成される。第 2 の層 9 8 は、マトリックス（図示しない）に埋め込まれたガラス繊維（図示しない）を含むことができる。別の構成では、第 2 の層 9 8 は、一又は複数のガラス層又はシート、例

50

えば一又は複数のガラスからなるモノリシックシートで構成される。第2の層98は、少なくとも部分的に、超高比重ポリエチレンといった強度及び/又は剛性の高い高分子材料から形成されて、マトリックス(図示しない)内部に埋め込まれるガラス繊維(図示しない)からなる剛性の高い複合層(図示しない)として形成することもできる。第1の層96、第2の層98、及び複合品10の組み合わせは、共同で、第1の層96の全体的な剛性を高め、層系94の弾道性能を高める補強層系94を形成する。

#### 【0066】

図22は、複合品10(図1)の製造方法200において実施される一又は複数の工程を示すフロー図である。方法200のステップ202は、各繊維22(図5A~13A)が繊維長34(図5A~13A)と繊維形状32(図5A~13A)とを有する複数の繊維110(図18)を準備することを含む。

10

#### 【0067】

ステップ204は、繊維長34(図5A~14B)に沿って繊維22(図5A~13A)の繊維形状32(図5A~14B)を変化させることを含む。例えば、繊維形状32は、繊維長34に沿って第1の部分52(図4)によって分離された一連の第2の部分54(図4)を含むことにより、繊維長34に沿って変形する。一実施形態では、繊維形状32は、繊維長34に沿って周期的58に(図4)変化する。しかしながら、繊維形状32は、半周期的又は非周期的に変化してもよい。

#### 【0068】

繊維形状32(図5A~14B)は、繊維長34(図5A~14B)に沿って繊維22の断面形状40(図3)を変化させることにより、及び/又は繊維長34に沿って繊維22(図5A~14B)の断面積38(図3)を変化させることにより、変化させることができる。さらなる実施形態では、繊維形状32は、上述のように、他長手軸36を挟んで交互に繊維22の断面形状40をずらすことにより(図3)、又は繊維長34に沿って断面形状40の方向を変化させることにより、変化させることができる。一実施形態では、繊維22には、蛇行形状78(図8A)、螺旋形状80(図10A)、又は他の形状を付与することができる。繊維22は、上述のように、繊維22とマトリックス18(図3)との間に異なる相互作用を生じさせるために、繊維22とマトリックス18との連結に影響しうる一又は複数の材料から形成することができる。

20

#### 【0069】

方法200のステップ206は、繊維22(図5A~14B)を横並び70(図3)の構成に配置することにより、層20(例えば、図1~3、及び14~14B)を形成することを含む。しかしながら、繊維は、互いに非平行な関係に配置することもできる。さらには、図示しないが、繊維は、互いに様々な角度の一又は複数に方向づけられているとき、織物ファブリックとして供給することができる。一実施形態では、繊維22は、上述のように、第1の部分52(図4)によって相互に結合された一連の第2の部分54(図4)を含むことができる。

30

#### 【0070】

ステップ208は、繊維22の第2の部分54が、層20内の繊維22のうち直接隣接するものの第1の部分52と少なくとも部分的に入れ子74(図4)になるように繊維22を構成することを含む。例えば、図4は、層20内の繊維22の第2の部分54が、層20内で直接隣接する繊維22の第1の部分52と少なくとも部分的に入れ子になるような、層20内の繊維22の配置を示している。図示しない実施形態では、一の層20内の繊維22の第2の部分54は、複合品10の層20のうちの隣接する一の層に含まれる繊維22の第1の部分52と少なくとも部分的に入れ子になるように構成される。

40

#### 【0071】

ステップ210は、マトリックス18(図4)に繊維22を埋め込むこと、及びマトリックス18を硬化又は凝固させて複合品10(図4)を形成することを含む。有利には、繊維22の繊維長34に沿った繊維形状32の変化は、弾道事象の間などの相対的な繊維の移動の度合いを調節する手段として、繊維-マトリックス間の機械的連結、及び/又は

50

繊維 - 繊維間の機械的連結を促進することができる。マトリックスに対する繊維の移動、及び互いに対する繊維の移動の度合いを調節することにより、複合品の弾道性能及び衝撃後光学性能を制御又は改善することができる。

【 0 0 7 2 】

一実施形態では、複合品 1 0 ( 図 1 ) は、繊維長 3 4 に沿って周期的又は半周期的に変化する繊維形状 3 2 を有する繊維 2 2 を使用することで、構造性能を向上させるように構成される。例えば、断面積、断面形状、及び / 又は方向が長さに沿って変化する繊維 2 2 から複合品 1 0 を形成することにより、複合品 1 0 の損傷許容性及び亀裂成長に対する耐性が、繊維長に沿って形状がほぼ変化しない繊維から形成された従来の複合品の損傷許容性及び亀裂成長に対する耐性と比較して向上する。

10

【 0 0 7 3 】

有利には、本明細書に開示される複合品 1 0 ( 図 1 ) には、繊維長 3 4 に沿って繊維形状 3 2 が変化することにより、マトリックス 1 8 材にいくらかの亀裂の偏向が生じる。これに関して、繊維形状 3 2 の変化により、複合品 1 0 のマトリックス 1 8 に、概ね直線状の経路に沿って伝播するのではなく、ねじれた経路に沿って伝播する亀裂が生じうる。ねじれた経路に沿った伝播は、繊維形状が繊維長に沿ってほぼ変化しない従来の繊維を有する従来の複合品のマトリックスにおける亀裂成長と比較して、マトリックス 1 8 内における亀裂成長を抑制できる。このような繊維形状が変化しない従来の繊維には、実質的に連続的な又は一定の断面形状、実質的に連続的な又は一定の断面積、及び / 又は実質的に連続的な又は一定の断面形状の方向が含まれる。従来の繊維は、また、繊維長に沿ってほぼ不変の材料種類から形成することができる。

20

【 0 0 7 4 】

一実施形態では、本明細書に開示された複合品 1 0 ( 図 1 ) には、マトリックスの亀裂が一の層 2 0 又は複数層 2 0 を通るねじれた経路に沿って伝播するように変化する繊維形状 3 2 を有する繊維 2 2 が含まれる。これに関して、繊維長 3 4 に沿った繊維形状の変化は、繊維形状が概ね変化しない従来の繊維を有する従来の複合品と比較して、複合品 1 0 の層内 ( 例えば、一の層内部の ) 靱性及び / 又は層間 ( 例えば、隣接する層間の ) 靱性を高めることができる。層内靱性の向上は、層 2 0 内部におけるマトリックスの亀裂の伝播に対する耐性が全体的に増大すること、及び / 又は繊維 - マトリックス間のインターフェースの剥離部において亀裂伝播に対する耐性が向上することを意味しうる。層間靱性の向上は、隣接層 2 0 の層間はく離に対する耐性が全体的に増大することを意味しうる。一実施形態では、繊維 2 2 の繊維形状 3 2 は、モード I 層間破壊靱性を増大させるように、及び / 又はモード II 層間破壊靱性を増大させるように、変化させることができる。モード I 層間破壊靱性は、複合品 1 0 の隣接層 2 0 にほぼ直角な方向に沿った開離力又は剥離力に対する耐性と特徴づけられる。モード II 層間破壊靱性は、複合品 1 0 の隣接層 2 0 にほぼ平行な剪断力に対する耐性と特徴づけられる。

30

【 0 0 7 5 】

本明細書に開示される複合品 1 0 では、繊維 2 2 は、形状の変化によって亀裂成長又は亀裂伝播が抑制される結果、複合品の損傷許容性が向上するように構成される。損傷許容性は、衝撃後圧縮強度及び / 又は有孔圧縮強度の上昇として測定することができる。衝撃後圧縮強度の上昇は、複合品に対するオブジェクトの低速度衝撃後の複合品 1 0 の残留強度の向上を意味しうる。低速度衝撃の非限定的な例として、ツールを落としたことによる衝撃、又は使用中に複合品 1 0 に対して異物が飛んだときの衝撃を挙げることができる。有孔圧縮強度の上昇は、圧縮荷重がかかったときの複合品 1 0 の挫屈強度の上昇を意味しうる。

40

【 0 0 7 6 】

図 2 4 は、ピークル ( 図示しない ) などに使用される複合品 1 0 ( 図 1 ) を実装する方法 4 0 0 を示している。複合品 1 0 の使用方法 4 0 0 は、上述のようにマトリックス 1 8 ( 図 1 ) に埋め込まれた複数の繊維 2 2 ( 図 1 ) として複合品 1 0 を準備するステップ 4 0 2 を含み、これら繊維 2 2 の各々は繊維長 3 4 ( 図 1 ) と繊維形状 3 2 ( 図 1 ) とを有

50

し、繊維形状 3 2 は繊維長 3 4 に沿って変化する。

【 0 0 7 7 】

図 2 4 の方法 4 0 0 は、さらに、複合パネル 1 4 ( 図 1 ) などの複合品 1 0 ( 図 1 ) を、ピークルが実質的に移動していないピークルの第 1 の状態に置くステップ 4 0 4 を含む。複合パネル 1 4 は、静的荷重条件下 ( 図示しない ) にあってもよい。一実施形態では、ピークルは、空港ターミナルのゲートに駐機しているときのような、地上にある航空機を含む。図 2 3 は、本明細書に開示される複合品 1 0 ( 図 1 ) の一又は複数の実施形態を包含する航空機 3 0 0 の斜視図である。航空機 3 0 0 は、一对の翼 3 0 4 と、垂直安定板 3 1 2 及び水平安定板 3 1 0 を含む尾部 3 0 8 とを有する胴体 3 0 2 を含んでいる。航空機 3 0 0 は、さらに、操縦面 3 0 6 と推進ユニット 3 1 4 とを含む。航空機 3 0 0 は、上述

10

【 0 0 7 8 】

一実施形態では、複合品 1 0 ( 図 1 ) は、少なくとも部分的に透明で、及び / 又は少なくとも部分的に不透明でありうる複合パネル 1 4 ( 図 1 ) を含むことができる。静的荷重条件下では、複合パネル 1 4 にかかる荷重は、複合パネル 1 4 の質量に作用する重力に起因する荷重に限定される。荷重には、ピークルに対する複合パネル 1 4 の取り付けに起因する圧縮荷重も含まれる。静的荷重には、引張荷重、剪断荷重、及び / 又は、ピークルに複合パネル 1 4 を取り付けただに起因して、又は隣接する構造の差別的加熱といった他の現象に起因して、又は他の原因に起因して、複合パネル 1 4 に作用するねじり荷重が含まれる。

20

【 0 0 7 9 】

図 2 4 の方法 4 0 0 は、さらに、ピークルが移動中である、及び / 又は複合パネル 1 4 が動的荷重条件 ( 図示しない ) 下にある第 2 の状態に複合パネル 1 4 を置くステップ 4 0 6 を含む。例えば、ピークルは、離陸の間に滑走路上で移動中の航空機 3 0 0 ( 図 2 3 ) を含む。動的荷重条件下では、複合パネル 1 4 にかかる荷重は、圧縮荷重、引張荷重、剪断荷重、及びねじり荷重のいずれか一つ、又はこれらの任意の組み合わせを含みうる。荷重には、弾丸又は飛来する異物による衝撃に起因して複合パネル 1 4 上に作用する局所的荷重も含まれる。上述のように、複合パネル 1 4 の繊維形状 3 2 の長さに沿った変化は、繊維 2 2 ( 図 1 ) とマトリックス 1 8 との機械的連結 ( 例えば、繊維 - マトリックス間の連結 ) 、及び / 又は複合パネル 1 4 を形成する層 2 0 ( 図 1 ) のうちの一又は複数内での隣接する繊維 2 2 間の機械的連結 ( 例えば、繊維 - 繊維間の連結 ) を促進する。機械的連結は、マトリックスに対する繊維の移動、及び / 又は繊維間の移動を制御することにより、複合パネル 1 4 に激突する弾丸を減速させる能力を増大させる手段となりうる。

30

【 0 0 8 0 】

図 2 4 の方法 4 0 0 は、さらに、マトリックス 1 8 中に亀裂がある場合に、その亀裂に、複合パネル 1 4 中の繊維 2 2 の繊維形状 3 2 を長方向に沿って変化させることにより得られたねじれた経路 ( 図示しない ) を伝播させるステップ 4 0 8 を含む。これに関して、ねじれた経路の方向は、繊維 2 2 の繊維形状 3 2 の変化によって規定される。亀裂伝播の経路がねじれていることにより、複合パネル 1 4 の、層内 ( 例えば、一の層内の ) 破壊靱性、及び / 又は層間 ( 例えば、隣り合う層間の ) 破壊靱性が向上しうる。これに関して、亀裂がねじれて伝播することにより、航空機 3 0 0 ( 図 2 3 ) が離陸又は着陸中に移動している場合に、複合パネル 1 4 がツール、滑走路の異物、又は砂利による衝撃といった低速度衝撃をうけたときの複合パネル 1 4 の衝撃後圧縮強度が向上しうる。さらには、亀裂がねじれて伝播することにより、圧縮荷重下において、複合パネル 1 4 の挫屈強度を上昇させる複合パネル 1 4 の有孔圧縮強度が向上しうる。

40

【 0 0 8 1 】

本発明の一態様によれば、マトリックスと、マトリックスに埋め込まれた複数の繊維であって、各々が繊維長と、繊維長に沿って変化する繊維形状とを有する複数の繊維とを備える複合品が提供される。有利には、繊維は第 1 の材料と第 2 の材料とからなる。有利には、マトリックス及び繊維の少なくとも一方が、アクリル、ナイロン、フルオロカーボン

50

、ポリアミド、ポリエチレン、ポリエステル、ポリプロピレン、ポリカーボネート、ポリウレタン、ポリエーテルエーテルケトン、ポリエーテルケトンケトン、ポリエーテルイミド、及び延伸ポリマーのうちの少なくとも一つを含む熱可塑性プラスチック材料：ポリウレタン、フェノール樹脂、ポリイミド、ビスマレイミド、ポリエステル、エポキシ、及びシルセスキオキサンの中の少なくとも一つを含む熱硬化性物質：炭素、炭化ケイ素、ホウ素、並びに、E - g l a s s（アルミニウム - ホウケイ酸ガラス）、S - ガラス（アルミニウム - ケイ酸塩ガラス）、純シリカ、ホウケイ酸ガラス、光学ガラス、セラミックス、及びガラスセラミックスを含むガラスのうちの少なくとも一つを含む無機材料のうちの一つから形成される。有利には、繊維は不透明及び光学的にほぼ透明のうちの少なくとも一方であり、マトリックスは不透明及び光学的にほぼ透明のうちの少なくとも一方である。有利には、複合品は、風防、キャノピー、窓、膜、装甲板、構造パネル、建築パネル、非構造品、及び層系の少なくとも一つに含まれる。有利には、繊維長に沿った繊維形状の変化によりマトリックス中の亀裂がねじれた経路に沿って伝播するように、マトリックス内で繊維が配置され、ねじれた経路により、繊維長に沿って繊維形状がほぼ変化しない繊維を有する複合品のマトリックス中における亀裂成長と比較して、マトリックス中の亀裂成長が抑制される。有利には、ねじれた経路は、少なくとも部分的に、一の繊維層内のマトリックス材、隣り合う層の間のマトリックス材の少なくとも一方の内部に延びる。有利には、繊維の繊維形状は、モードⅠ層間破壊靱性及びモードⅡ層内破壊靱性といった損傷許容性の少なくとも一方を増大させるように変化する。

10

#### 【 0 0 8 2 】

20

本発明のまた別の態様によれば、複合品の製造方法が提供され、この方法は、各々が繊維長と繊維形状とを有する複数の繊維であって、繊維の少なくとも一つが繊維長に沿って変化する繊維形状を有する複数の繊維を準備するステップと、マトリックス内に繊維を埋め込むステップとを含む。有利には、繊維の形成には第 1 の材料と第 2 の材料とが含まれる。有利には、さらなるステップは、層を形成するために、各々が第 1 の部分によって分離された一連の第 2 の部分を有する繊維を横並びの構成に構成することと、層内の繊維の一つの第 2 の部分が、層内の繊維のうちの直接隣接する一つの第 1 の部分と少なくとも部分的に入れ子になるように、繊維を配置することを含む。

#### 【 0 0 8 3 】

本発明のさらなる態様によれば、繊維長と繊維形状とを有し、繊維形状が繊維長の少なくとも一部に沿って変化する、複合品のための繊維が提供される。有利には、繊維形状は、繊維長に沿って可変の断面積を有する。有利には、繊維形状は、繊維長に沿って可変の断面形状を有する。有利には、繊維形状は、繊維長に沿ってほぼ一定の断面積を有する。有利には、繊維は繊維長に沿って延びる長手軸を有し、繊維形状は断面積を有し、断面積は、繊維長に沿った複数の異なる位置において長手軸からずれている。有利には、繊維形状の変化は、繊維長に沿った一連の第 1 の部分と第 2 の部分から構成される。有利には、繊維は約 3 ミクロン ~ 5 0 0 0 ミクロンの範囲の繊維厚を有している。

30

#### 【 0 0 8 4 】

当業者には、本発明の他の修正例及び改良例が明らかであろう。したがって、本明細書に記載及び例示した部品の具体的な組み合わせは、本発明の特定の実施形態を表しているに過ぎず、本発明の精神及び範囲に含まれる別の実施形態又はデバイスを限定するものではない。

40

#### 【 符号の説明 】

#### 【 0 0 8 5 】

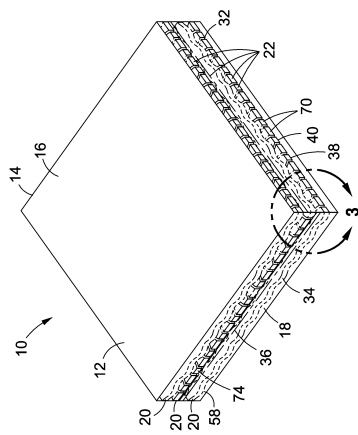
- 1 0 複合品
- 1 2 複合品の表面
- 1 4 複合パネル
- 1 6 パネル表面
- 1 8 マトリックス
- 2 0 層

50

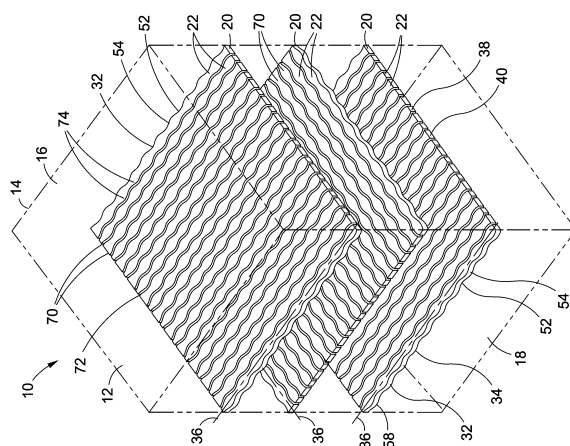
2 2	繊維	
2 4	繊維表面	
2 6	繊維の上面	
2 8	繊維の下面	
3 0	繊維の側面	
3 2	繊維形状	
3 4	繊維長	
3 6	長手軸	
3 8	断面積	
3 8 a	第 1 の断面積	10
3 8 b	第 2 の断面積	
3 9	繊維長に沿った位置	
4 0	断面形状	
4 0 a	第 1 の断面形状	
4 0 b	第 2 の断面形状	
4 2	繊維厚	
4 4	繊維幅	
4 6	繊維径	
4 8	断面重心	
5 0	繊維コア	20
5 2	繊維の第 1 の部分	
5 4	繊維の第 2 の部分	
5 6	繊維ビーズ	
5 8	周期的	
6 0	第 1 の材料	
6 2	第 2 の材料	
6 4	半周期的	
7 0	横並び	
7 2	空隙	
7 4	入れ子	30
7 6	ずれ	
7 8	蛇行形状	
8 0	螺旋形状	
8 1	突出部	
8 2	大きな突出部	
8 3	小さな突出部	
8 4	空洞部	
8 6	短軸	
8 8	長軸	
9 0	力	40
9 2	係合	
9 4	層系	
9 6	第 1 の層	
9 8	第 2 の層	
1 0 0	試験品	
1 0 2	物品表面	
1 0 4	正面	
1 0 6	背面	
1 0 8	マトリックス	
1 1 0	繊維	50

1 1 2	弾丸
1 1 6	激突部位
1 2 2	局所的関与
1 2 4	全体的関与
3 0 0	航空機
3 0 2	胴体
3 0 4	翼
3 0 6	操縦面
3 0 8	尾部
3 1 0	水平安定板
3 1 2	垂直安定板
3 1 4	推進ユニット

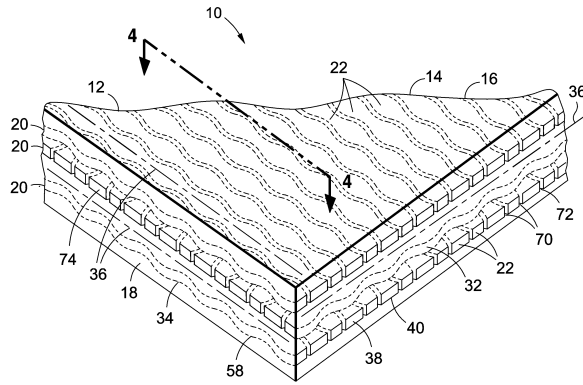
【図 1】



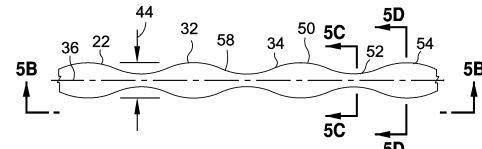
【図 2】



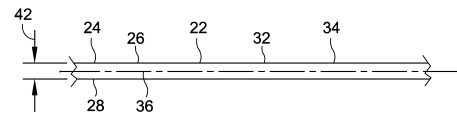
【図 3】



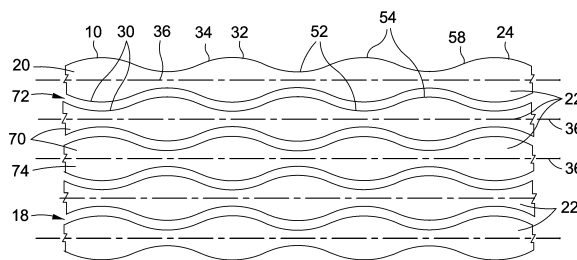
【図 5 A】



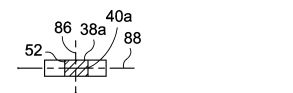
【図 5 B】



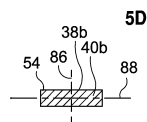
【図 4】



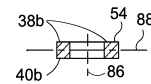
【図 5 C】



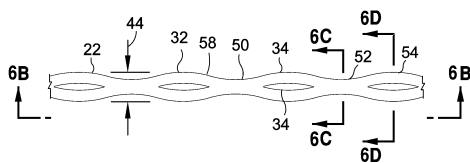
【図 5 D】



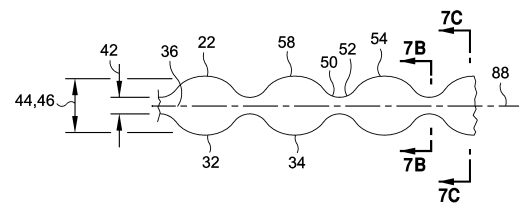
【図 6 D】



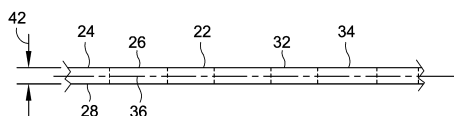
【図 6 A】



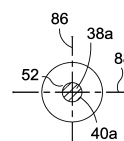
【図 7 A】



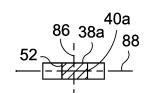
【図 6 B】



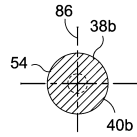
【図 7 B】



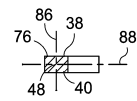
【図 6 C】



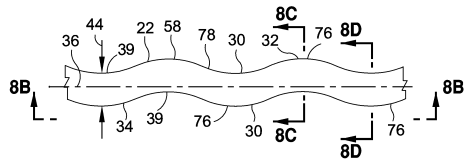
【図 7 C】



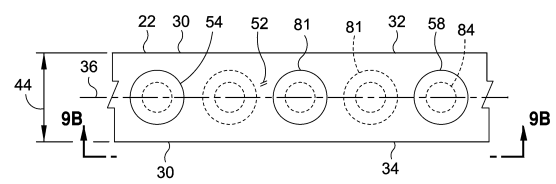
【図 8 D】



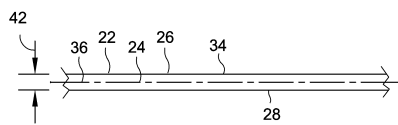
【図 8 A】



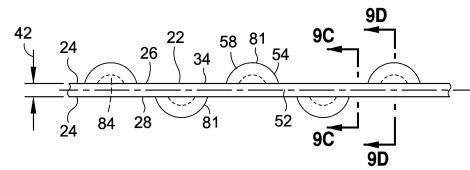
【図 9 A】



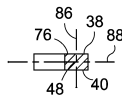
【図 8 B】



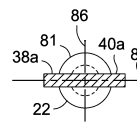
【図 9 B】



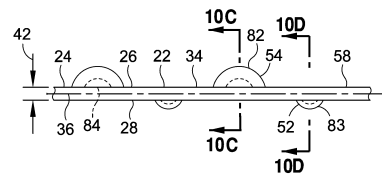
【図 8 C】



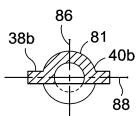
【図 9 C】



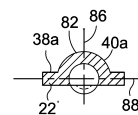
【図 10 B】



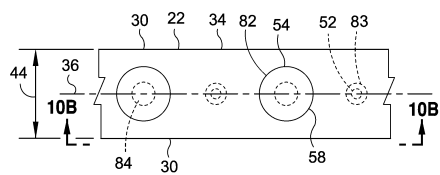
【図 9 D】



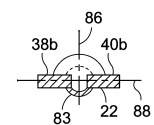
【図 10 C】



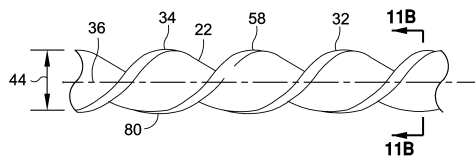
【図 10 A】



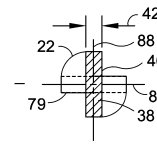
【図 10 D】



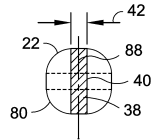
【図 1 1 A】



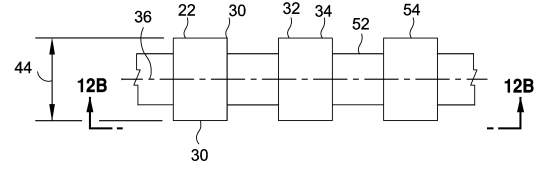
【図 1 1 D】



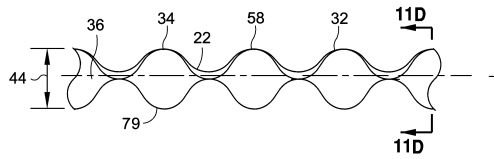
【図 1 1 B】



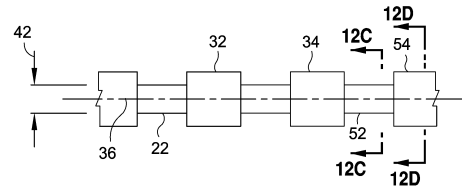
【図 1 2 A】



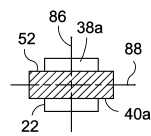
【図 1 1 C】



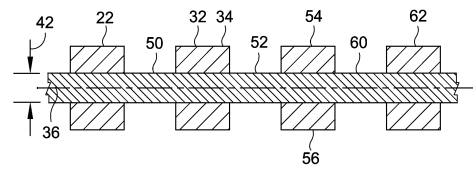
【図 1 2 B】



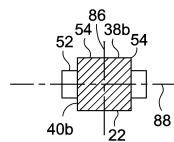
【図 1 2 C】



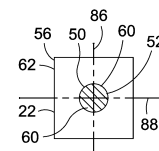
【図 1 3 B】



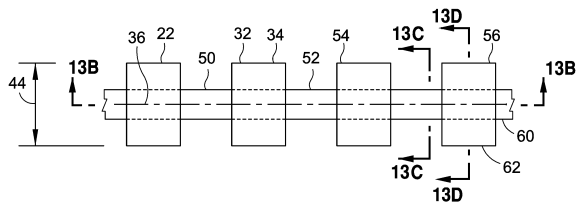
【図 1 2 D】



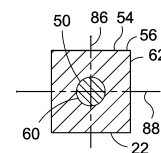
【図 1 3 C】



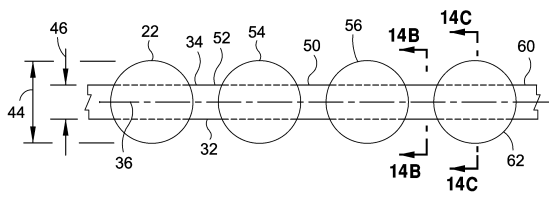
【図 1 3 A】



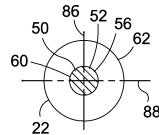
【図 1 3 D】



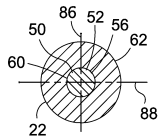
【図 14 A】



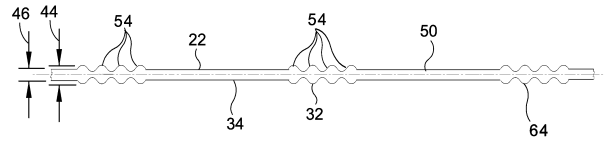
【図 14 B】



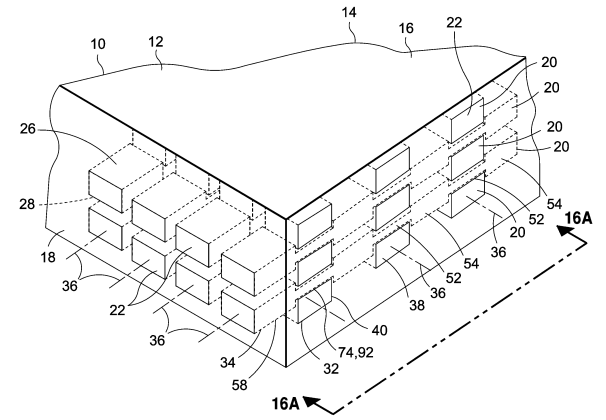
【図 14 C】



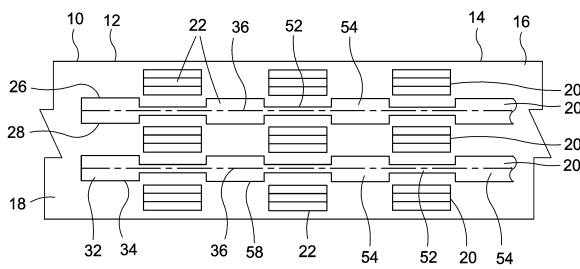
【図 15】



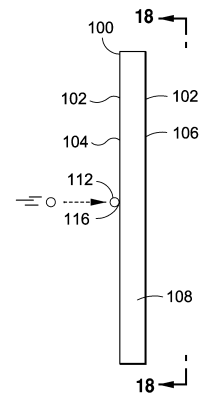
【図 16】



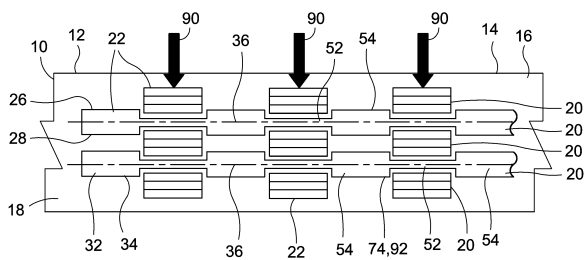
【図 16 A】



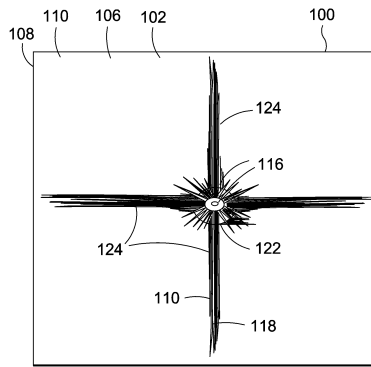
【図 17】



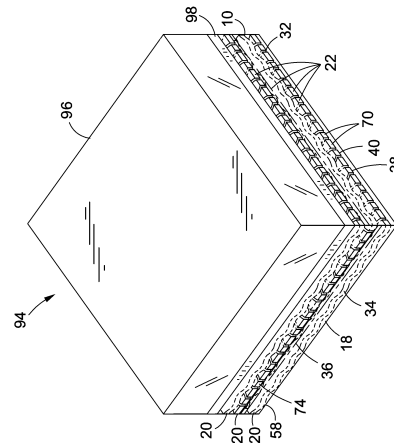
【図 16 B】



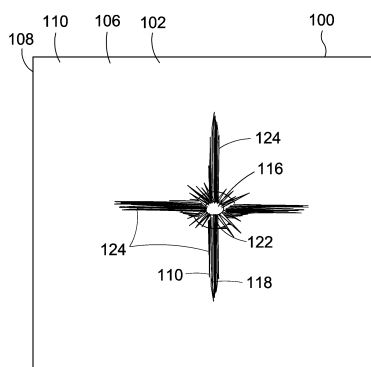
【図 18】



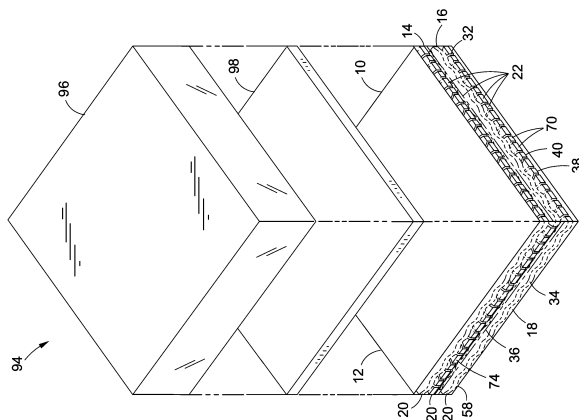
【図 20】



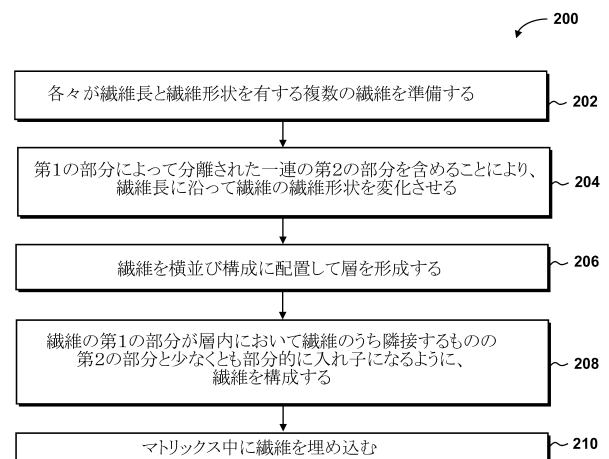
【図 19】



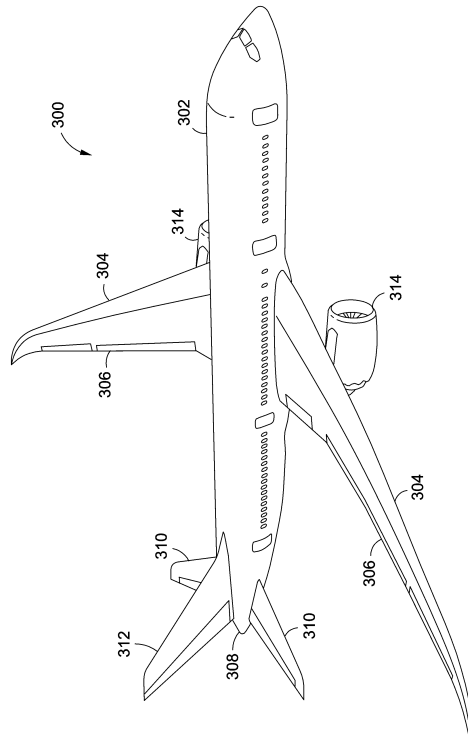
【図 21】



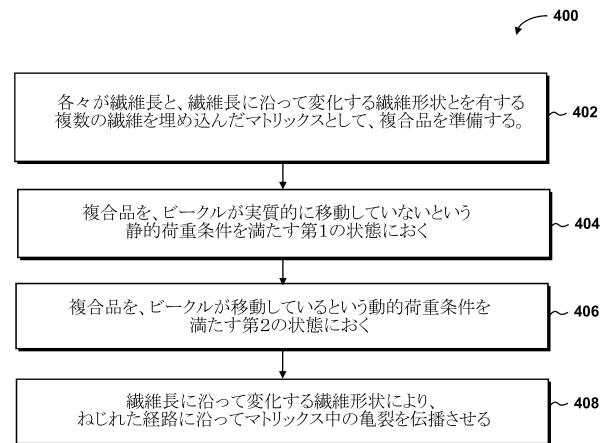
【図 22】



【図 23】



【図 24】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ウィレンスキー, マーク エス.  
アメリカ合衆国 ワシントン 98040, マーサー アイランド, サウス イースト 37  
番 ストリート 8446

審査官 諸星 圭祐

(56)参考文献 米国特許第06060163(US, A)  
米国特許第06340522(US, B1)  
特開平08-218220(JP, A)  
特開平06-192927(JP, A)  
特開平05-093349(JP, A)  
特開平01-200947(JP, A)  
米国特許第07261945(US, B2)  
米国特許第06706380(US, B2)  
実公昭50-042151(JP, Y1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F41H	5/00 - 5/26
B32B	1/00 - 43/00
E04C	5/07
B29C	67/12 - 67/18