

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-166322

(P2016-166322A)

(43) 公開日 平成28年9月15日(2016.9.15)

(51) Int.Cl.

C08L 101/00 (2006.01)

F I

C08L 101/00

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L 外国語出願 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2015-162396 (P2015-162396)  
(22) 出願日 平成27年8月20日 (2015. 8. 20)  
(31) 優先権主張番号 14/493, 369  
(32) 優先日 平成26年9月23日 (2014. 9. 23)  
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 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 110002077  
園田・小林特許業務法人  
(72) 発明者 ウィレンスキー, マーク エス.  
アメリカ合衆国 イリノイ 60606,  
シカゴ, ノース リバーサイド 100

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 複合材の歪能力を向上させるための高分子ナノ粒子

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】複合構造体の歪能力を増大させるシステム、方法を提供する。

【解決手段】樹脂混合物を形成するために、樹脂と樹脂に含まれる複数の高分子ナノ粒子とを含み、高分子ナノ粒子の少なくとも幾つかは、高分子ナノ粒子のポリマー骨格の性質、樹脂の自由体積よりも大きいナノ粒子自由体積及び樹脂の空隙率よりも高いナノ粒子空隙率、の内の少なくとも1つに起因して、樹脂よりも高い歪能力を有し得る組成物。樹脂内の高分子ナノ粒子を用いることにより、樹脂混合物の歪及び/又は歪能力が高まり、複合材構造体の性能が向上し得る方法。

【選択図】なし

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

樹脂（１１８）、  
複数の高分子ナノ粒子（１５０）、  
前記樹脂と前記高分子ナノ粒子とを含む樹脂混合物（１２２）を含む組成物であって、  
前記高分子ナノ粒子（１５０）の少なくとも幾つかが、  
前記高分子ナノ粒子（１５０）のポリマー骨格の性質、  
前記樹脂（１１８）の自由体積よりも大きいナノ粒子自由体積、及び  
前記樹脂（１１８）の空隙率よりも高いナノ粒子空隙率  
のうちの少なくとも１つに起因して、前記樹脂（１１８）よりも高い歪能力を有する、組  
成物。 10

**【請求項 2】**

前記高分子ナノ粒子（１５０）が概して球状である、請求項 1 に記載の組成物。

**【請求項 3】**

前記樹脂（１１８）は、硬化されると、前記高分子ナノ粒子（１５０）を含まない樹脂  
（１１８）の歪能力よりも高い、少なくとも１つの方向に沿った歪能力を有する、請求項  
1 又は 2 に記載の組成物。

**【請求項 4】**

前記高分子ナノ粒子（１５０）の少なくとも幾つかが、ナノ粒子の全体積の 50 パーセ  
ントよりも多くを占める単一の細孔（１７０）によって提供されるナノ粒子空隙率を有す  
る、請求項 1 から 3 の何れか一項に記載の組成物。 20

**【請求項 5】**

前記高分子ナノ粒子（１５０）の少なくとも幾つかがナノ粒子自由体積を有し、前記高  
分子ナノ粒子の体積の 95 パーセントまでが、非連結の固体であり、これにより、前記高  
分子ナノ粒子の自由体積膨張が可能となる、請求項 1 から 4 の何れか一項に記載の組成物  
。

**【請求項 6】**

前記高分子ナノ粒子（１５０）が、10～200 ナノメートルの粒子断面幅を有する、  
請求項 1 から 5 の何れか一項に記載の組成物。

**【請求項 7】**

前記高分子ナノ粒子（１５０）は、体積比で前記樹脂混合物（１２２）の 10 パーセン  
ト以上を構成し、前記高分子ナノ粒子（１５０）は、体積比で前記樹脂（１１８）混合物  
の 75 パーセントまでを構成する、請求項 1 から 6 の何れか一項に記載の組成物。 30

**【請求項 8】**

前記樹脂混合物（１２２）は、複合材構造体のコーティング、接着剤、射出成形用ブラ  
スチック、樹脂混合物のうちの少なくとも１つに含まれる、請求項 1 から 7 の何れか一項  
に記載の組成物。

**【請求項 9】**

前記樹脂（１１８）及び／又は前記高分子ナノ粒子（１５０）は、  
熱可塑性材料、アクリル、フルオロカーボン、ポリアミド、ポリオレフィン、ポリエス  
テル、ポリカーボネート、ポリウレタン、ポリアリールエーテルケトン、ポリエーテルイ  
ミド、ポリエーテルスルホン、ポリスルホン、及びポリフェニルスルホン、  
熱硬化性材料、ポリウレタン、フェノール、ポリイミド、スルホン化ポリマー、導電性  
ポリマー、ベンゾオキサジン、ビスマレイミド、シアン酸エステル、ポリエステル、エポ  
キシ、及びシルセスキオキサン  
のうちの少なくとも１つで構成される、請求項 1 から 8 の何れか一項に記載の組成物。 40

**【請求項 10】**

前記高分子ナノ粒子（１５０）の少なくとも幾つかが、熱可塑性材料で形成され、且つ  
少なくとも部分的に前記樹脂（１１８）に可溶であり、  
前記樹脂混合物（１２２）が、硬化されると、前記高分子ナノ粒子（１５０）を含まな  
50

い硬化された樹脂（１１８）の靱性に対して増大した靱性を有する、請求項１から９の何れか一項に記載の組成物。

【請求項１１】

前記高分子ナノ粒子（１５０）が、  
前記樹脂（１１８）と前記高分子ナノ粒子との間で負荷を伝達可能であるか、  
少なくとも部分的に前記樹脂（１１８）に可溶であるかの何れかである、シース内に含有される、請求項１から１０の何れか一項に記載の組成物。

【請求項１２】

複合材構造体に印加される負荷に抵抗する方法であって、  
複数の高分子ナノ粒子（１５０）を含む樹脂（１１８）を有する複合材構造体に負荷を印加するステップであって、前記高分子ナノ粒子（１５０）の少なくとも幾つかが、  
前記高分子ナノ粒子（１５０）のポリマー骨格の性質、  
前記樹脂（１１８）の自由体積よりも大きいナノ粒子自由体積、及び  
前記樹脂（１１８）よりも高い空隙率であるナノ粒子空隙率  
の少なくとも１つに起因して、前記樹脂（１１８）よりも高い歪能力を有する、ステップと、  
前記高分子ナノ粒子を含まない樹脂（１１８）の体積歪能力よりも高い前記樹脂（１１８）の体積歪能力を用いて、前記負荷に抵抗するステップと  
を含む方法。

【請求項１３】

前記負荷を印加するステップ及び前記負荷に抵抗するステップが、  
前記複合材構造体の第１の軸に沿って前記負荷を印加すること、及び  
前記高分子ナノ粒子（１５０）を含まない複合材構造体の歪能力よりも高い、硬化された前記樹脂（１１８）の前記第１の軸に沿った歪能力を用いて、前記負荷に抵抗することを含む、請求項１２に記載の方法。

【請求項１４】

前記負荷を印加するステップ及び前記負荷に抵抗するステップが、  
前記第１の軸に沿って引張負荷を印加すること、及び  
前記高分子ナノ粒子（１５０）を含まない複合材構造体の引張歪よりも大きい、前記第１の軸に沿った引張歪を用いて、前記負荷に抵抗することを含む、請求項１２又は１３に記載の方法。

【請求項１５】

前記複合材構造体が前記第１の軸に直角方向の第２の軸を有し、前記負荷に抵抗するステップが更に、  
前記高分子ナノ粒子（１５０）を含まない複合材構造体の圧縮歪よりも大きい、前記第２の軸に沿った圧縮歪を用いて、前記負荷に抵抗することを含む、請求項１４に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本開示は複合材料に関し、より詳細には、複合材構造体の歪能力を向上させるための複合材構造体でのナノ粒子の使用に関する。

【背景技術】

【０００２】

複合材構造体は、樹脂マトリクスに埋め込まれた強化繊維を含むのが典型的である。複合材構造体は、負荷を繊維長に沿って伝達するように設計される。樹脂マトリクスは繊維を所定位置に保持し、樹脂マトリクスを通じて負荷を伝わらせることにより、繊維から繊維へと負荷を伝達し得る。複合材構造体に負荷をかける間、樹脂マトリクスは典型的に、多方向に負荷を受ける。例えば、ある負荷が複合材構造体に加わると、樹脂マトリクスが、繊維に平行な方向に沿って及び繊維を横切る一又は複数の方向に沿って、負荷を受け得る

。歪の何らかの組み合わせが既定値を超えると、樹脂マトリクスは破損し得る。

【0003】

歪不変量破壊理論は、複合材構造体内の樹脂マトリクスの破壊を招く歪の組み合わせを予測するために用いられる基準である。歪不変量破壊理論においては、第1の歪不変量 $J_1$ を超過すると破壊が発生する。第1の歪不変量 $J_1$ は、互いに直交に配向する3つの主歪 $(\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3)$ の合計である。

【0004】

標準テストクーポンが単軸引張で負荷を受けると、主歪 $\epsilon_1$ が引張方向に増大する一方、ポアソン比に起因して、クーポンの断面が縮小するので、主歪 $\epsilon_2 + \epsilon_3$ は負であるか圧縮性である。クーポンが引張負荷によって伸長するにつれてクーポン断面が縮小する能力の結果、クーポンが縮小できないようかなり大きい値よりも、主歪 $\epsilon_1$ が増大し得る。一方、静水圧引張（即ち、 $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3$ ）で負荷を受けた材料は、3つの主方向の比較的低い歪で破損する。

10

【0005】

複合材構造体に負荷がかけられると、強化フィラメントは典型的に、樹脂マトリクスを縮小に抵抗するように拘束する。マトリクスの縮小能力が減少することにより、マトリクスの引張歪能力が制限される。マトリクスの歪能力が制限された結果、複合材構造体の性能が制限され得る。例えば、複合材構造体が引張負荷を受ける場合、樹脂の比較的低い破壊歪により、繊維が破壊歪に到達する前に樹脂の破壊（例えば、微細ひび割れ）が引き起こされ得る。

20

【0006】

このように、複合材構造体の性能を向上させる手段として、複合材構造体内の樹脂の歪能力を増大させるシステム及び方法に対する当技術分野での需要が存在する。

【発明の概要】

【0007】

複合材構造体内の樹脂の歪能力に関連する上記の需要は本発明によって特に対処され、本発明は、樹脂混合物を形成するために、樹脂と該樹脂内の複数の高分子ナノ粒子とを含む組成物を提供する。高分子ナノ粒子の少なくとも幾つかは、高分子ナノ粒子のポリマー骨格の性質に起因して、及び/又は樹脂の自由体積よりも大きいナノ粒子自由体積に起因して、及び/又は樹脂の空隙率よりも高いナノ粒子空隙率に起因して、樹脂よりも高い歪能力を有し得る。高分子ナノ粒子は、結果として、樹脂混合物の歪能力及び/又は歪能力を高め、これにより複合材構造体の性能が向上し得る。

30

【0008】

更なる実施形態では、高い歪能力を有する高分子ナノ粒子を含有する樹脂を含む複合材構造体が開示される。複合材構造体は更に、樹脂混合物内に埋め込まれた複数の強化繊維を含み得る。高分子ナノ粒子の高い歪能力は、ポリマー骨格の性質、ナノ粒子の自由体積、及び/又は、ナノ粒子の空隙率に起因し得る。

【0009】

組成物の生成方法も開示される。本方法は、樹脂を提供すること、及び、樹脂内に複数の高分子ナノ粒子を混合して樹脂混合物を生成することを含み得る。上述のように、高分子ナノ粒子は高い膨張能力を有し得る。

40

【0010】

更なる実施形態では、複合材構造体に印加される負荷に抵抗する方法が開示される。複合材構造体は、複数の高分子ナノ粒子を含む硬化された樹脂を含有し得、複数の高分子ナノ粒子の少なくとも幾つかは、高分子ナノ粒子のポリマー骨格に起因して、比較的高い自由体積を有する高分子ナノ粒子に起因して、及び/又はナノ粒子の空隙率に起因して、樹脂よりも高い歪能力を有し得る。本方法は更に、高分子ナノ粒子を含まない樹脂の体積歪能力よりも高い樹脂混合物の体積歪能力によって、負荷に抵抗することを含み得る。

【0011】

特徴、機能及び利点は、本開示の様々な実施形態において独立して達成可能であり、又

50

は、以下の説明及び図面を参照して更なる詳細が理解可能である更に他の実施形態において組み合わされてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0012】

本開示の上記の及びその他の特徴は、図面を参照することでより明白となり、図面では、全体を通して類似の番号が類似の部分を表している。

【0013】

【図1】樹脂と強化フィラメントで形成された繊維トウとを含み、複合材構造体の歪能力を増大させる高分子ナノ粒子を含む、複合材構造体のブロック図である。

【図2】複数の連続的な強化繊維で各々が形成された、一方向性プライのスタックを含む複合材構造体の斜視図である。

【図3】複合材構造体の一部の断面を示し、異なる角度で配向された一方向性複合材プライの強化フィラメントを示す。

【図4】図3の線4で切り取られた複合材構造体の一部の拡大図であり、樹脂内の複数の高分子ナノ粒子を示す。

【図5】硬化された未修飾の樹脂の概略図であり、高分子ナノ粒子を含まない未修飾の樹脂を示す。

【図5A】硬化された未修飾樹脂に印加された二軸引張、及び、樹脂にわたり均一に分散して生じた (resulting) 樹脂歪の概略図である。

【図6】樹脂に埋め込まれた強化フィラメントを含む複合材構造体の概略斜視図である。

【図6A】強化フィラメントの長さに平行な第1の方向に沿って印加される引張負荷の概略斜視図であり、第1の方向に沿って生じた引張歪、及び、強化フィラメントを横切る第2の及び第3の方向に沿った、樹脂の無視できる又は存在しない圧縮歪を示す。

【図7】図4の線7で切り取った、硬化された樹脂混合物の概略図であり、高い歪能力を有する複数の高分子ナノ粒子を含む樹脂を示す。

【図7A】硬化された樹脂混合物に、図5Aで印加された二軸引張と同じ大きさで印加される二軸引張の概略図であり、ナノ粒子歪、及び、図5Aに示す未修飾樹脂の歪と比較して増大した樹脂混合物の歪を示す。

【図8】図4の線8で切り取った、複合材構造体の概略斜視図であり、高い歪能力を有する高分子ナノ粒子を含む樹脂混合物に埋め込まれた強化フィラメントを示す。

【図8A】強化フィラメントの長さに平行な第1の方向に沿って印加される引張負荷の概略斜視図であり、強化フィラメントを横切る第2の方向及び第3の方向に沿った、樹脂に生じた圧縮歪を示し、図6Aの未修飾樹脂のより低い引張歪と比較して増大した、第1の方向に沿った樹脂混合物内の引張歪を更に示す。

【図9】高い自由体積を有する高分子ナノ粒子を含む樹脂を含む、硬化された樹脂混合物の概略図である。

【図9A】図9Aの硬化された樹脂混合物に印加される二軸引張の概略図であり、発生した粒子歪及び樹脂混合物の歪を示す。

【図10】複数の細孔を各々が有する高分子ナノ粒子を含む樹脂を含む、硬化された樹脂混合物の概略図である。

【図10A】図10Aの硬化された樹脂混合物に印加される二軸引張の概略図であり、発生した粒子歪及び樹脂混合物の歪を示す。

【図11】複合材構造体の製造方法に含まれ得る一又は複数の工程を示すフロー図である。

【図12】複合材構造体に負荷を印加する方法に含まれ得る一又は複数の工程を有するフロー図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

ここで、本開示の様々な実施形態を図示する目的で示された図面を参照すると、樹脂 118 と歪能力の高い高分子ナノ粒子 150 とを含む樹脂混合物 122 を含む、複合材構造

10

20

30

40

50

体 1 0 0 のブロック図が図 1 に示される。幾つかの実施例で、複合材構造体 1 0 0 は、一又は複数の複合材プライ 1 0 4 ( 図 2 ) を含む複合材レイアップ 1 0 2 として形成され得る。複合材レイアップ 1 0 2 は樹脂混合物 1 2 2 内に埋め込まれた繊維トウ 1 1 0 を含み得る。繊維トウ 1 1 0 の各々は、強化フィラメント 1 1 2 で形成され得る。繊維 1 1 0 の予含浸中及び / 又は繊維 1 1 0 の樹脂注入中、繊維 1 1 0 に樹脂 1 1 8 が塗布され得る。

#### 【 0 0 1 5 】

有利には、高分子ナノ粒子 1 5 0 が比較的高い歪能力及び / 又は膨張能力を有し得る。例えば、高分子ナノ粒子 1 5 0 の材料組成物 1 1 6 は、硬化された未修飾樹脂 1 1 8 よりも高い体積歪能力及び / 又はより大きい破壊歪を有し得る。本開示において、未修飾樹脂 1 1 8 は、歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 を含まない樹脂 1 1 8 として記載され得る。高分子ナノ粒子 1 5 0 の比較的高い歪能力は、高分子ナノ粒子材料のポリマー骨格 1 5 4 の性質に起因し得る。別の実施例で、高分子ナノ粒子 1 5 0 の比較的高い歪能力は未修飾樹脂 1 1 8 の自由体積よりも大きいナノ粒子自由体積に起因し得る。

10

#### 【 0 0 1 6 】

更なる実施例で、高分子ナノ粒子 1 5 0 の比較的高い歪能力は、未修飾樹脂 1 1 8 の空隙率よりも高い、高分子ナノ粒子 1 5 0 のナノ粒子空隙率に起因し得る。高分子ナノ粒子 1 5 0 の比較的高い歪能力及び / 又は膨張能力は、結果として、未修飾樹脂 1 1 8 の歪及び / 又は歪能力と比較して、樹脂混合物 1 2 2 の歪及び / 又は歪能力における向上をもたらし得る。樹脂混合物 1 2 2 の歪及び / 又は歪能力を向上させることは、結果として、複合材構造体 1 0 0 の負荷担持能力又は剛性など、複合材構造体 1 0 0 の性能の向上につながる。

20

#### 【 0 0 1 7 】

有利には、歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 は、強化フィラメント 1 1 2 のフィラメント断面幅に対して比較的小さい粒子断面幅 1 5 2 で提供され得る。例えば、高分子ナノ粒子 1 5 0 は 1 0 ~ 2 0 0 ナノメートルの粒子断面幅 1 5 2 を有し得、強化フィラメント 1 1 2 は 5 ~ 3 0 ミクロンのフィラメント断面幅を有し得る。更に、高分子ナノ粒子 1 5 0 は、概して丸い又は球状の形状で提供され得る。高分子ナノ粒子 1 5 0 の比較的小さいサイズ及び / 又は概して丸いもしくは球状の形状により、樹脂混合物 1 2 2 の粘度増加を未修飾樹脂 1 1 8 の粘度と比較して最小限に抑え、高分子ナノ粒子 1 5 0 が比較的高い担持レベルで樹脂 1 1 8 に添加されることが可能となる。一実施例で、高分子ナノ粒子 1 5 0 は、体積比で樹脂混合物 1 2 2 の 7 5 パーセントまでを構成し得る。樹脂混合物 1 2 2 の比較的低い粘度により、複合材レイアップ 1 0 2 の処理が促進され得、埋め込み繊維を通る樹脂のフローが促進され得る。

30

#### 【 0 0 1 8 】

図 2 は、繊維 1 1 0 と樹脂 1 1 8 に埋め込まれた複数の歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 とを含む複合材プライ 1 0 4 のスタックで作製された、複合材構造体 1 0 0 の概略図である。図示の実施例で、複合材プライ 1 0 4 は一方向性プライ 1 0 8 として構成されている。一方向性プライ 1 0 8 の各々は、概して平行であり連続的な強化繊維 1 1 0 又は繊維トウ 1 1 0 を含み得る。一実施例で、一方向性プライ 1 0 8 は、互いに隣り合って配置された複数の一方向性テープ 1 1 4 又は繊維トウ 1 1 0 で作製され得る。繊維トウ 1 1 0 の各々は、数千本の強化フィラメント 1 1 2 で作製され得る。例えば、1 本の繊維トウ 1 1 0 が最大で 1 0 0 , 0 0 0 本を超える強化フィラメント 1 2 0 を含み得る。幾つかの実施例で、強化フィラメントは、5 ~ 3 0 ミクロンの断面幅又は直径のフィラメントを有する。例えば、炭素強化フィラメントは、約 5 ~ 7 ミクロンの断面幅のフィラメントを有してもよい。ガラス強化フィラメントは、1 0 ~ 2 5 ミクロンの断面幅のフィラメントを有してもよい。本開示で、繊維、複合材繊維、強化繊維、及び繊維トウの語が交換可能に使用されてもよい。

40

#### 【 0 0 1 9 】

図 2 は一方向性プライ 1 0 8 で形成された複合材レイアップ 1 0 2 を示すが、複合材レイアップ 1 0 2 は、一方向性テープ、繊維織物、編み上げ繊維、ステッチ繊維の形態、チ

50

ヨップドファイバの形態、及び任意の他のタイプの波形及び非波形繊維の形態を含むがこれらに限定されない、種々の多様な繊維形態のうちの任意の複合材プライ 104 を用いて提供されてよい。複合材レイアップ 102 内の繊維 110 の構成に関わらず、有利には、樹脂 118 が、樹脂混合物 122 の歪能力を向上させ得る複数の歪能力の高い高分子ナノ粒子 150 を含み得る。更に、強化繊維 110 又は強化フィラメント 112 を含まない用途では、歪能力の高い高分子ナノ粒子 150 が樹脂混合物 122 内に含まれ得る。例えば、歪能力の高い高分子ナノ粒子 150 は、接着剤、コーティング、射出成型可能なプラスチック、及びその他の用途として用いられる樹脂内に含まれ得る。

#### 【0020】

図3は、図2の複合材構造体100の一部の断面を示し、異なる角度に向きを合わされた一方向性プライ108の強化フィラメント112を示す。例えば、中間の2つの複合材プライ104は、紙面に平行に向きを合わされ得る強化フィラメント112を含み得る。最上部の複合材プライ104及び最下部の複合材プライ104は、紙面に直角の方向に沿って向きを合わされ得る。複合材プライ104の中間と最上部との間、並びに複合材プライ104の中間と最下部との間に配置され得る複合材プライ104は、紙の面に対して非平行且つ非垂直に配向される強化フィラメント120を含み得る。しかしながら、複合材プライ104のうちの何れもが、複合材レイアップ102内の他の複合材プライ104の強化フィラメント112に対して任意の角度に向きを合わされた強化繊維110を含み得る。更に、複合材プライ104のうちの何れもが、一方向性テープ以外の繊維形態で提供され得る。

#### 【0021】

図2に示されているような複合材構造体100は、複合材プライ104のスタックをレイアップすることにより形成され得る。一実施例で、複合材プライ104は、樹脂混合物122を用いて予含浸され得る（例えば、プリプレグ複合材プライ）。樹脂混合物122は、歪能力の高い高分子ナノ粒子150を含み得る。樹脂混合物122の粘度を低下させ、これにより樹脂混合物122が流動し、隣接した複合材プライ104の樹脂混合物122と混合されるように、プリプレグ複合材プライ104のスタックに熱が加えられ得る。プリプレグ複合材プライ104の樹脂混合物122を硬化及び/又は固化するために、熱及び/又は圧力が加えられ得る。複合材構造体100を得るために、複合材レイアップ102が能動的に又は受動的に冷却され得る。

#### 【0022】

プリプレグ工程の前又はプリプレグ工程中に、高い歪能力を有する高分子ナノ粒子150が複合材プライ104に塗布され得る。幾つかの実施例で、各繊維110トウを構成する強化フィラメント112の内部に又は間に高分子ナノ粒子が埋め込まれるように、繊維トウ110、一方向性テープ、繊維織物、又は他の繊維形態に、高分子ナノ粒子150が塗布され得る。例えば、繊維トウ110をプリプレグ繊維形態（プリプレグ一方向性テープ、プリプレグ一方向性シート、プリプレグ繊維織物、プリプレグ編み上げ繊維110、及び他のプリプレグ繊維形態など）へと形成する前に、移動中の繊維トウ110の強化フィラメント112上に高分子ナノ粒子150がスプレー噴霧され得る。

#### 【0023】

代替的に、複合材レイアップ102は、ドライ繊維複合材プライ104をスタックすることにより形成され得る。ドライ繊維複合材プライ104に、歪能力の高い高分子ナノ粒子150を含有する樹脂混合物122が注入され得る。樹脂混合物122は、適切な樹脂注入プロセスを用いてドライ繊維複合材プライ104へ注入され得る。例えば、歪能力の高い高分子ナノ粒子150を含有する樹脂混合物122が、真空支援型樹脂トランスファー成形（VARTM）、大気圧制御圧力樹脂注入（CAPRI）、又は他の様々な樹脂トランスファープロセスのうちの任意のものを用いて、ドライ繊維複合材プライ104へ注入され得る。樹脂混合物122の注入後、複合材レイアップ102は固化され得る。樹脂混合物122を硬化及び/又は凝固させて複合材構造体100を形成するために、熱及び/又は圧力が複合材レイアップ102に加えられ得る。

## 【 0 0 2 4 】

本明細書に記載の任意の実施例で、樹脂 1 1 8 及び / 又は高分子ナノ粒子は、熱可塑性材料及び / 又は熱硬化性材料で形成され得る。熱可塑性材料は、アクリル、フルオロカーボン、ポリアミド、ポリオレフィン（例えば、ポリエチレン、ポリプロピレン）、ポリエステル、ポリカーボネート、ポリウレタン、ポリアリールエーテルケトン（例えば、ポリエーテルエーテルケトン（P E E K）、ポリエーテルケトンケトン（P E K K）、ポリエーテルケトンエーテルケトン（P E K E K）、など）、ポリエーテルイミド、ポリエーテルスルホン、ポリスルホン、及び / 又はポリフェニルスルホンを含み得る。熱硬化性材料は、ポリウレタン、フェノール、ポリイミド、スルホン化ポリマー（ポリフェニレンスルファイド）、導電性ポリマー（例えば、ポリアニリン）、ベンゾオキサジン、ビスマレイミド、シアン酸エステル、ポリエステル、エポキシ、及びシルセスキオキサンを含み得る。強化フィラメント 1 2 0 は、炭素、炭化ケイ素、ホウ素、セラミックなどの材料、及び金属材料から形成されてもよい。強化フィラメント 1 1 2 は、E ガラス（アルミノホウケイ酸ガラス）、S ガラス（アルミノケイ酸ガラス）、純シリカ、ホウケイ酸ガラス、光学ガラス、及び他のガラス組成物から形成されてもよい。

10

## 【 0 0 2 5 】

図 4 は、図 3 の複合材構造体 1 0 0 の一部を示し、樹脂混合物 1 2 2 内の複数の歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 を示す。図示のように、高分子ナノ粒子 1 5 0 は強化フィラメント 1 1 2 のフィラメント断面幅に対して比較的小さい粒子断面幅 1 5 2 を有し得る。図示の実施例で、高分子ナノ粒子 1 5 0 は、複合材レイアップ 1 0 2 全体に均一に分布し得る。例えば、高分子ナノ粒子 1 5 0 は、一方向性テープ 1 1 4 の各々の強化フィラメント 1 1 2 の間に含まれ得る。更に、高分子ナノ粒子 1 5 0 は、隣接した複合材プライ 1 0 4 の間の層間領域 1 0 6 に含まれ得る。更に、高分子ナノ粒子 1 5 0 は、複合材プライ 1 0 4 の一方向性テープ 1 1 4 の隣接したペアの対向する側端間の空間に含まれ得る。

20

## 【 0 0 2 6 】

これに関して、複合材レイアップ 1 0 2 は、強化フィラメント 1 1 2 を囲む及び / 又は一方向性テープの強化フィラメント 1 1 2 間に埋め込まれる高分子ナノ粒子 1 5 0 を含有する、プリプレグ方向性テープ 1 1 4 で構成され得る。複合材レイアップ 1 0 2 の処理中、樹脂 1 1 8 の粘度を低下させるために樹脂混合物 1 2 2 に熱が加えられ得、これにより、同じ複合材プライ 1 0 4 内で及び隣接した複合材プライ 1 0 4 内で、プリプレグ方向性テープ 1 1 4 の各々の樹脂混合物 1 2 2 が流動して一方向性テープ 1 1 4 の樹脂混合物 1 2 2 と混合することが可能となる。樹脂混合物 1 2 2 の混合により、結果として、高分子ナノ粒子 1 5 0 が複合材レイアップ 1 0 2 全体に、概して均一に分散され得る。

30

## 【 0 0 2 7 】

しかしながら、他の実施例で、高分子ナノ粒子 1 5 0 は、複合材レイアップ 1 0 2 の一方向性プライ 1 0 8 のレイアップ中及び / 又はレイアップ後に、標的位置に選択的に塗布され得る。歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 は、複合材レイアップ 1 0 2 の樹脂リッチなポケットに塗布され得る。樹脂リッチなポケットは、複合材レイアップ 1 0 2 のその位置における繊維 1 1 0 の体積に対して、比較的高い体積の樹脂 1 1 8 を含有し得る。他の実施例で、歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 は、繊維ベッド内に（例えば、繊維トウ 1 1 0 もしくは複合材プライ 1 0 4 を構成する強化フィラメント 1 1 2 内に又はこれらの間に）優先的に塗布され得る。更に、高分子ナノ粒子は、複合材レイアップ 1 0 2 のある領域に選択的に塗布され得る一方、複合材レイアップ 1 0 2 の他の領域は高分子ナノ粒子 1 5 0 を含まない。例えば、高分子ナノ粒子 1 5 0 は、複合材レイアップ 1 0 2 の層間領域 1 0 6 のうちの一又は複数に塗布され得、複合材レイアップ 1 0 2 の他の領域は高分子ナノ粒子 1 5 0 を含まなくてもよい。

40

## 【 0 0 2 8 】

図 5 は、硬化された未修飾樹脂 1 1 8 のユニットセル（最小単位（unit cell））の概略図であり、高分子ナノ粒子を含まない未修飾樹脂 1 1 8 を示す。未修飾樹脂 1 1 8 は、より低い破壊歪を有し得るか又は熱可塑性樹脂 1 1 8 よりも脆弱であり得る、熱

50



硬化性材料で作成され得る。図 5 A は、硬化された未修飾樹脂 1 1 8 に対する 2 軸引張 1 6 8 の印加を示す概略図であり、未修飾樹脂 1 1 8 全体に亘り全方向に均一に分散される樹脂歪 1 2 0 を示す。

#### 【 0 0 2 9 】

図 6 は、未修飾樹脂 1 1 8 に埋め込まれた強化フィラメント 1 1 2 を含有する、複合材構造体 1 0 0 の例示的なブロック 2 0 0 の概略斜視図である。強化フィラメント 1 1 2 は、例示的なブロック 2 0 0 の第 1 の方向 2 0 2 に沿って向くように図示されている。図 6 には、第 1 の方向 2 0 2 に直角方向の第 2 の方向 2 0 4、並びに、第 1 の方向及び第 2 の方向 2 0 4 に対して直角方向の第 3 の方向 2 0 6 も示されている。図 6 A は、強化フィラメント 1 1 2 に平行な第 1 の方向 2 0 2 に沿って図 6 の例示的なブロック 2 0 0 に印加される単軸引張負荷 2 0 8 の概略斜視図であり、第 1 の方向 2 0 2 に沿って生じた引張歪 2 1 0 を示している。未修飾樹脂 1 1 8 を含有する強化フィラメント 1 1 2 が、第 2 の方向 2 0 4 及び第 3 の方向 2 0 6 に沿った収縮を拘束するので、複合材構造体 1 0 0 の例示的なブロック 2 0 0 は、第 2 の方向 2 0 4 及び第 3 の方向 2 0 6 に沿って比較的小さい歪を呈する。上述のように、未修飾樹脂 1 1 8 の低下した、引張負荷方向を横切る方向に沿った収縮又は歪能力により、強化フィラメント 1 1 2 の歪は制限され、複合材構造体 1 0 0 の性能が損なわれる。

10

#### 【 0 0 3 0 】

図 7 は、図 4 の線 7 で切り取った、硬化された樹脂混合物 1 2 2 のユニットセルの概略図であり、樹脂混合物 1 2 2 内の高い歪能力を有する複数の高分子ナノ粒子 1 5 0 を示している。これに関して、硬化された樹脂混合物 1 2 2 は、未修飾樹脂 1 1 8 の歪能力よりも大きい、少なくとも 1 つの方向に沿った歪能力を有し得る。上述のように、歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 は、未修飾樹脂 1 1 8 よりも高い歪能力を有すると特徴付けられ得る。例えば、高分子ナノ粒子 1 5 0 は、高分子ナノ粒子 1 5 0 の材料組成物 1 1 6 (例えば、ポリウレタン、エチレンプロピレンゴム) のポリマー骨格 1 5 4 の性質に起因し、本質的に高い歪能力を有し得る。

20

#### 【 0 0 3 1 】

上述のように、歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 は、比較的小さい粒子断面幅 1 5 2 又は約 1 0 ~ 2 0 0 ナノメートルの直径を備え得る。幾つかの実施例で、高分子ナノ粒子は 1 0 ~ 1 0 0 ナノメートルの断面幅を有し得る。しかしながら、特定の用途では、高分子ナノ粒子が 2 ミクロンまでの断面幅を有し得る。有利には、高分子ナノ粒子 1 5 0 の比較的小さい粒子断面幅 1 5 2 は、含浸工程又は樹脂注入中に発生し得る過度に大きいナノ粒子の除去を防止し得る。これに関して、過剰に大きいナノ粒子が、樹脂の流入中に強化フィラメント 1 1 2 間を通過することを防止され得る。

30

#### 【 0 0 3 2 】

幾つかの実施例で、樹脂混合物 1 2 2 は、実質的に同じ粒子断面幅 1 5 2 を有し得る高分子ナノ粒子 1 5 0 を含有し得る。しかしながら、他の実施例で、高分子ナノ粒子 1 5 0 のうちの幾つかが、樹脂混合物 1 2 2 内の他の高分子ナノ粒子 1 5 0 の粒子断面幅 1 5 2 とは異なる粒子断面幅 1 5 2 を有し得る。更に、歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 に加えて、樹脂混合物 1 2 2 は、高い歪能力の提供とは異なる機能を有し得る高分子ナノ粒子を含み得る。例えば、樹脂混合物 1 2 2 内の高分子ナノ粒子の少なくとも幾つかが、未修飾樹脂 1 1 8 の靱性よりも高い靱性を有し得る熱可塑性材料で形成され得る。

40

#### 【 0 0 3 3 】

例えば、歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 に加えて、樹脂混合物 1 2 2 はまた、樹脂硬化の前もしくは樹脂硬化中、並びに樹脂の大部分が複合材レイアップ 1 0 2 を通流した後、熱可塑性高分子ナノ粒子が完全に又は部分的に樹脂混合物 1 2 2 内に溶解するように、樹脂 1 1 8 内に少なくとも部分的に可溶であり得る、熱可塑性高分子ナノ粒子 (図示せず) を含有し得る。熱可塑性高分子ナノ粒子の溶解の結果、樹脂混合物 1 2 2 は、硬化された未修飾樹脂 1 1 8 の靱性に対して増大した靱性を有し得る。樹脂混合物 1 2 2 の増大した靱性より、運用中の複合材構造体 1 0 0 の熱サイクル及び / 又は機械的負荷において

50

、複合材構造体 100 内の亀裂発生もしくは亀裂成長が低減又は防止され得る。一実施形態で、高分子ナノ粒子 150 の少なくとも幾つかは、樹脂 118 と高分子ナノ粒子 150 との間で負荷を伝達可能であり得る、シース（図示せず）内に含有され得る。他の実施例で、シースは少なくとも部分的に樹脂 118 に可溶であり得る。例えば、シースの溶解が、硬化された樹脂 118 の韌性の向上に繋がるように、シースは熱可塑性であり得る。

#### 【0034】

好ましくは、歪能力の高い高分子ナノ粒子 150 及び／又は他のタイプの高分子ナノ粒子は、樹脂混合物 122 の粘度に対する高分子ナノ粒子の影響を低下させる手段として、丸い形状又は球状の形状で提供され得る。高分子ナノ粒子の概して丸い形状又は球状の形状により、樹脂注入もしくは樹脂流入中、ナノ粒子が強化フィラメント 112 間に滑り込むことが可能となり得、鋭利な端部もしくは角部を有する、球状でない形状又は複雑な形状のナノ粒子の場合に発生し得る、高分子ナノ粒子の強化フィラメント 112 又は他の高分子ナノ粒子とのインターロックが回避され得る。しかしながら、高分子ナノ粒子が球状でない形状で提供されてもよい。例えば、高分子ナノ粒子は、長方形もしくは楕円形状などの概して丸い形状、又は、立方体、長方形、ピラミッド型、及びその他の形状を含むがこれらに限定されない 3 次元のファセット形状として提供され得る。

10

#### 【0035】

高分子ナノ粒子の丸い形状もしくは球状の形状及び／又は比較的小さい粒子断面幅 152 により、樹脂の粘度に対する影響が比較的小さく、樹脂混合物 122 内の高分子ナノ粒子の比較的高い濃度を可能とし得る。幾つかの実施例で、高分子ナノ粒子 200 は、樹脂 118 及び高分子ナノ粒子 200 を含有する、体積比で樹脂混合物 122 の 75 パーセントまでを構成し得る。好ましくは、高分子ナノ粒子 200 は、高分子ナノ粒子 200 の体積百分率の範囲の下限として、樹脂混合物 114 の体積の最小 10 % を占めてもよい。しかしながら、幾つかの例では、高分子ナノ粒子 200 は、範囲の下限で、体積の 5 % 未満を占めてもよい。更に他の例では、高分子ナノ粒子 200 は、範囲の下限で、樹脂混合物 114 の 10 % 未満を占めてもよい。更なる例では、高分子ナノ粒子 200 は、範囲の下限で、体積の 15 % 未満を占めてもよい。

20

#### 【0036】

ある種の応用では、高分子ナノ粒子 200 の体積百分率の範囲の上限として、樹脂混合物 114 の体積の最大 65 % で高分子ナノ粒子 200 を提供することが望ましいことがある。しかしながら、幾つかの例では、高分子ナノ粒子 200 は、範囲の上限として、体積の 50 % 未満を占めてもよい。ある種の応用では、高分子ナノ粒子 200 は、樹脂混合物 114 の高分子ナノ粒子 200 の体積百分率の範囲に関する上述の下限及び上限の任意の組み合わせで提供されてもよい。高分子ナノ粒子 200 の体積百分率の範囲に関する上述の下限及び上限の非限定的な組み合わせには、高分子ナノ粒子 200 が樹脂混合物 114 の体積百分率で 5 ~ 75 % を占める配合が含まれる。別の例では、樹脂混合物 114 の体積百分率で 10 ~ 75 % を占める高分子ナノ粒子 200 が含まれる。更に他の例では、高分子ナノ粒子 200 は、樹脂混合物 114 の体積百分率で 15 ~ 65 % を占めてもよい。更に別の例では、高分子ナノ粒子 200 は、樹脂混合物 114 の体積百分率で 20 ~ 50 % を占めてもよい。有利には、概して丸い形又は球形の高分子ナノ粒子 200 は、樹脂 112 内での高分子ナノ粒子 200 の濃度が直線的に上昇するにつれて樹脂 112 の特性を直線的に改善し、樹脂の粘度の影響は最小限又は無視しうる程度に抑えることができる。

30

40

#### 【0037】

図 7 A は、図 5 A の未修飾樹脂 118 に印加された二軸引張 168 と同じ大きさで、図 7 の硬化された樹脂混合物 122 に印加された、二軸引張 168 の概略図である。二軸引張 168 負荷の印加に応答して、歪能力の高い高分子ナノ粒子 150 は、ナノ粒子の膨張 162 を呈し得る。これに関して、高分子ナノ粒子 150 の膨張又は拡張により、図 5 A に示す未修飾樹脂 118 の歪に対して、樹脂 118 マトリクスの歪における増大が可能となり得る。図 7 A で、全方向に均一に伸びている樹脂混合物 122 の歪が示される。樹脂 118 高分子ナノ粒子間の領域はボアソン比に起因して歪み得、結果として樹脂 118 マ

50

トリクスの歪能力が増大し得る。

【0038】

図8は、上述のように高い歪能力を有する高分子ナノ粒子150を含有する樹脂混合物122内に埋め込まれた強化フィラメント112を含有する、複合材構造体100の例示的なブロック200の概略斜視図である。図示の実施例で、高分子ナノ粒子150は、樹脂118マトリクス全体に亘り実質的に均一に分散され得、個々の繊維110トウ（図2）の強化フィラメント112の間及び／又は隣接して配置された複合材レイアップ102繊維110トウの間に、位置し得る。図8Aは、強化フィラメント112の長さに平行な第1の方向202に沿って例示的なブロック200に印加される単軸引張負荷208の概略斜視図である。第2の方向204及び第3の方向206の両方に沿った、樹脂混合物122に生じた圧縮歪212、214も示されている。有利には、複数の高分子ナノ粒子150のナノ粒子歪みの影響は、ポアソン比による高分子ナノ粒子150間の樹脂混合物122の領域の歪みを考慮に入れる。結果として、図6Aに示す例示的なブロック200のより低い引張歪み210の量に対して、複合材構造体100の例示的なブロック200の第1の方向202に沿った引張歪210が増大する。ナノ粒子歪みの結果として増大した歪能力は、複合材構造体100の性能の向上につながり得る。

10

【0039】

図9は、硬化された修飾済み樹脂118の自由体積よりも大きいナノ粒子自由体積を有する自由体積の大きい高分子ナノ粒子156を含有する、硬化された樹脂混合物122のユニットセルの一実施形態の概略図である。本開示で、自由体積の大きい高分子ナノ粒子156は、オングストロームレベルの空隙率を有するものとして記載され得る。自由体積の大きい高分子ナノ粒子156はまた、高分子組成物を構成するポリマー鎖の端部に未充填体積を含む、高分子組成物を有する材料で作製されるものとして記載され得る。自由体積の大きい高分子ナノ粒子156において、高分子ナノ粒子156の体積の95パーセントまでが、非連結の固体（図示せず）であり得、これにより、自由体積の大きい高分子ナノ粒子156の自由体積の膨張が可能であり得る。非連結の固体は、組成物の体積膨張中に最小限の応力を呈する単一の非固体相を有する組成物を表し得る。図9Aは、図9Aの硬化された樹脂混合物122に印加される二軸引張168の概略図であり、未修飾樹脂118（図5A）の歪能力よりも高い、発生したナノ粒子歪160及び樹脂混合物歪124を示す。樹脂混合物122の歪は、自由体積の大きい高分子ナノ粒子156の比較的高い膨張能力によって提供され得る。

20

30

【0040】

図10は、複数の細孔170を各々が有する多孔性高分子ナノ粒子158を含有する樹脂118を含む、硬化された樹脂混合物122のユニットセルの概略図である。幾つかの実施例で、多孔性高分子ナノ粒子158は、硬化された未修飾樹脂118の空隙率よりも高いナノ粒子空隙率を有し得る。多孔性高分子ナノ粒子は単一の細孔170を含有し得る。幾つかの実施例で、単一の細孔170が、多孔性高分子ナノ粒子158の外面に密封される全体積の50パーセントよりも多くを占め得る。しかしながら、他の実施例で、単一の多孔性高分子ナノ粒子158が複数の細孔170を有し得る。幾つかの実施例では、細孔170が、多孔性高分子ナノ粒子158の全体積の50パーセントよりも多くを占め得る。代替的に、多孔性高分子ナノ粒子158は、多孔性高分子ナノ粒子158の全体積の50パーセントを下回る細孔170の全体積を有し得、樹脂118の空隙率よりも高い空隙率を有し得る。多孔性高分子ナノ粒子158はまた、水の浸入を最小限に抑えるために、少なくとも部分的に、疎水性又は超疎水性の材料で作製され得る。好ましくは、空隙率のレベルに関わらず、多孔性高分子ナノ粒子158は未修飾樹脂118よりも高い歪能力を有する。図10Aは、図10Aの硬化された樹脂混合物122に印加される二軸引張168の概略図であり、未修飾樹脂118（図5A）の歪能力よりも高い、ナノ粒子歪160及び樹脂混合物歪124を示している。

40

【0041】

図11は、複合構造物100の製造方法300に含まれ得る一又は複数の工程を示すフ

50

ロー図である。本方法の工程 3 0 2 は、上述の熱可塑性材料又は熱硬化性材料のうちの任意の 1 つで形成され得る樹脂 1 1 8 を提供することを含む。

#### 【 0 0 4 2 】

方法の工程 3 0 4 は、歪特性が向上した樹脂混合物 1 2 2 を形成するために、複数の歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 を樹脂 1 1 8 に混合することを含み得る。上述のように、歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 の歪能力は、高分子ナノ粒子 1 5 0 のポリマー骨格 1 5 4 の性質、自由体積の大きい高分子ナノ粒子 1 5 6、及び / 又は一又は複数の細孔 1 7 0 を有する多孔性高分子ナノ粒子 1 5 8、を含むがこれらに限定されない、一又は複数の特性によって提供され得る。歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 は、未修飾樹脂 1 1 8 の体積歪能力よりも高い体積歪能力を有し得る。

10

#### 【 0 0 4 3 】

プリプレグ工程の前に又はその間に、歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 が樹脂 1 1 8 に添加され得る。代替的に、歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 は、液体樹脂注入プロセス中、樹脂 1 1 8 を複合材レイアップ 1 0 2 に注入する前に液体樹脂 1 1 8 と混合され得る。更に、歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 は、複合材レイアップ 1 0 2 の一又は複数の複合材プライ 1 0 4 間にレイアップされ得る樹脂フィルム（図示せず）に含まれ得る。更なる実施例で、樹脂マトリクスの歪能力を高めるために、歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 は、複合材レイアップ 1 0 2 の標的領域に添加され得る。更なる態様では、他の機能を有する高分子ナノ粒子が歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 に含まれ得る。例えば、樹脂の靱性、弾性率、強度、熱膨張率（C T E）、不燃性、発煙性及び毒性レベル、導電性、及び / 又は耐食性を高めるために、高分子ナノ粒子が樹脂 1 1 8 に添加され得る。更に、硬化による収縮、反応熱を低減し、並びに / 又は、複合材レイアップ 1 0 2 及び / もしくは複合材構造体 1 0 0 の他の特性を向上させるために、高分子ナノ粒子が添加され得る。

20

#### 【 0 0 4 4 】

方法の工程 3 0 6 は、樹脂混合物 1 2 2 の硬化前に、樹脂混合物 1 2 2 内に強化繊維 1 1 0 を埋め込むことを含み得る。上述のように、強化繊維 1 1 0 は、歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 を含有する樹脂混合物 1 2 2 で予含浸され得る。プリプレグ繊維 1 1 0 は、一方向性テープ、繊維織物、編み上げ繊維、又は他の繊維形態を含む様々な任意の繊維形態で配置され得る。代替的に、高分子ナノ粒子 1 5 0 を含有する樹脂混合物 1 2 2 は、任意の様々な樹脂注入処理を用いてドライ繊維 1 1 0 レイアップ内に注入され得る。

30

#### 【 0 0 4 5 】

方法の工程 3 0 8 は、樹脂混合物 1 2 2 を硬化することを含み得る。幾つかの実施例で、複合材レイアップ 1 0 2 を固化して繊維体積率を向上させるために、並びに / 又は揮発性物質及び / もしくはボイドを複合材レイアップ 1 0 2 から除去するために、硬化前又は硬化中に圧力が印加され得る。固化に続いて、樹脂混合物 1 2 2 を硬化又は固化して複合材構造体 1 0 0 を形成するために、熱及び / 又は圧力が加えられ得る。

#### 【 0 0 4 6 】

図 1 2 は、複合材構造体 1 0 0 に印加される負荷に抵抗する方法 4 0 0 の一又は複数の工程を示すフロー図である。本方法の工程 4 0 2 は、高い歪能力を有する高分子ナノ粒子 1 5 0 を含有する硬化された樹脂混合物 1 2 2 を有する複合材構造体 1 0 0 に、負荷を印加することを含み得る。上述のように、歪能力の高い高分子ナノ粒子 1 5 0 の添加により、樹脂混合物 1 2 2 及び / 又は複合材構造体 1 0 0 のポアソン比に起因して収縮する能力を高めることによって樹脂 1 1 8 の性能が直接的に向上し得、これにより、樹脂の歪能力が高まり、従って複合材構造体 1 0 0 の性能が向上し得る。有利には、歪能力の高い高分子ナノ粒子の添加により、ベースとなる樹脂 1 1 8 の化学構造を変更することが回避され、これにより耐溶剤性及びその他の特性を含む樹脂の特性が影響を受けない。

40

#### 【 0 0 4 7 】

方法の工程 4 0 4 は、未修飾樹脂 1 1 8 の体積歪能力よりも高い樹脂混合物 1 2 2 の体積歪能力を用いて、複合材構造体 1 0 0 に対する負荷に抵抗することを含み得る。一実施

50

例で、方法は、複合材構造体 100 の第 1 の軸又は第 1 の方向 202 に沿って負荷を印加すること、及び、未修飾の樹脂 118 を含有する複合材構造体 100 の歪能力よりも高い硬化された樹脂混合物 122 の歪能力を用いて、負荷に抵抗することを含み得る。例えば、複合材構造体 100 が単軸引張で負荷をかけられ得る。高分子ナノ粒子 150 の歪能力の結果、単軸引張負荷は、樹脂 118 を含有する複合材構造体 100 の引張歪よりも大きい、第 1 の軸又は第 1 の方向 202 に沿った複合材構造体 100 の引張歪を引き起こし得る。方法は更に、第 1 の方向 202 を横切る方向を向く、第 2 の軸又は第 2 の方向 204 に沿って、圧縮歪によって単軸引張荷重に抵抗することを含み得る。高分子ナノ粒子を含有する複合材構造体 100 の第 2 の方向 204 に沿った圧縮歪は、未修飾の樹脂 118 を含有する複合材構造体 100 の圧縮歪よりも大きくなり得る。

10

#### 【0048】

幾つかの実施例で、方法は、強化フィラメント 112 が互いに接触することを防ぎ繊維 120 (図 4) の浸透性を制御するための離間材 (スペーサ) として機能する、一又は複数の強化フィラメント 112 に、複数の高分子ナノ粒子 200 を結合することを含み得る。高分子ナノ粒子 200 は、強化フィラメント 112 が繊維形成装置 (図示せず) から引かれている間、強化フィラメント 112 に塗布され得る。他の実施例で、高分子ナノ粒子 200 は、繊維トウ 110 が、一方向性テープ、一方向性シート、繊維織物、編み上げ繊維、及び他の繊維形態へと形成される間、強化フィラメント 112 に塗布され得る。高分子ナノ粒子 200 はまた、プリプレグ工程中に、一又は複数の強化フィラメント 112 に結合されるか又は塗布されてもよく、この場合、繊維トウ、一方向性テープ、繊維織物、編み上げ繊維、及び繊維形態に樹脂 118 が塗布され得る。

20

#### 【0049】

幾つかの実施例では、高分子ナノ粒子 200 が強化フィラメント 112 に溶融 (melt-fuse) され得る。例えば、高分子ナノ粒子 200 が熱可塑性材料で形成され、又は、高分子ナノ粒子 200 が、コアを包囲する熱可塑性シースを各々が有する、コアシースナノ粒子 (図示せず) として構成されてもよい。コアシースナノ粒子が強化フィラメント 112 と接触すると、強化フィラメント 112 及び / 又は高分子ナノ粒子のシースは、コアシースナノ粒子の外部の強化フィラメント 112 に対する接合又は溶融が引き起こされる温度まで、加熱され得る。

#### 【0050】

本開示の例示的な実施形態は、航空機、宇宙船、衛星、又は他の航空宇宙コンポーネントの製造及び保守方法 (図示せず) の内容に記述される。製造前の段階では、コンポーネントの製造及び / 又は保守は、航空宇宙コンポーネントの仕様及び設計、並びに材料の調達を含み得る。製造段階では、航空宇宙コンポーネントのコンポーネント及びサブアセンブリの製造、並びにシステムインテグレーションが行われる。その後、航空機、宇宙性、衛星、又は他の航空宇宙コンポーネントは、認可及び納品を経て運航に供され得る。

30

#### 【0051】

1 つの例では、製造及び保守方法によって製造された航空宇宙コンポーネントは、複数のシステム及び内装を有する機体を含む。複数のシステムの例には、推進システム、電気システム、油圧システム、及び環境システムのうちの一又は複数が含まれる。任意の数の他のシステムが含まれ得る。航空宇宙産業の例を示したが、様々な例示的な実施形態は、自動車産業などの他の産業にも適用され得る。

40

#### 【0052】

本明細書で具現化されている装置及び方法は、航空宇宙コンポーネントの製造及び / 又は保守方法の段階のうちの少なくとも 1 つにおいて採用されることがある。具体的には、複合材構造体 100 (例えば、図 1)、被覆、射出成形プラスチック、及び / 又は接着剤は、航空宇宙コンポーネントの製造及び保守方法の段階のうちのいずれか 1 つにおいて製造されてもよい。例えば、限定しないが、複合材構造体は、コンポーネント及びサブアセンブリの製造、システムインテグレーション、定期的な製造及び保守、又は航空機の製造及び保守における他の何らかの段階のうちの少なくとも 1 つで製造され得る。更には、複

50

合材構造体は、一又は複数の航空宇宙コンポーネントで使用され得る。例えば、複合材構造体は、航空機、宇宙船、衛星、又は他の航空宇宙コンポーネントの機体の構造、内装、又は他の部品に含まれ得る。

#### 【0053】

本開示の一態様によれば、樹脂、複数の高分子ナノ粒子、樹脂内に埋め込まれた複数の強化繊維を含有する複合材構造体が提供され、高分子ナノ粒子のうちの少なくとも幾つかは、下記の少なくとも1つ：高分子ナノ粒子のポリマー骨格の性質、樹脂の自由体積よりも大きいナノ粒子自由体積、及び、樹脂の空隙率よりも大きいナノ粒子空隙率に起因して、樹脂よりも高い歪能力を有する。有利には、複合材構造体は、その繊維が下記のうちの少なくとも1つの構成：繊維トウ、一方向性テープ、繊維織物、及び／又は編み上げ繊維を有する。有利には、高分子ナノ粒子は、体積比で樹脂混合物の10パーセント以上を構成し、高分子ナノ粒子は、体積比で樹脂混合物の75パーセントまでを構成する。

10

#### 【0054】

本開示の一態様によれば、組成物の形成方法が提供され、本方法は、樹脂を提供すること、及び、樹脂混合物を形成するために樹脂内に複数の高分子ナノ粒子を混合することを含み、高分子ナノ粒子の少なくとも幾つかは、下記の少なくとも1つ：高分子ナノ粒子のポリマー骨格の性質、樹脂の自由体積よりも大きいナノ粒子自由体積、及び、樹脂の空隙率よりも高いナノ粒子空隙率に起因して、樹脂よりも高い歪能力を有する。有利には、方法は更に、樹脂混合物の硬化前に、樹脂混合物内に強化繊維を少なくとも部分的に埋め込むことを含む。

20

#### 【0055】

本開示の一態様によれば、樹脂、複数の高分子ナノ粒子を含む組成物が提供され、高分子ナノ粒子の少なくとも幾つかは、下記の少なくとも1つ：高分子ナノ粒子のポリマー骨格の性質、樹脂の自由体積よりも大きいナノ粒子自由体積、及び、樹脂の空隙率よりも高いナノ粒子空隙率に起因して、樹脂よりも高い歪能力を有する。有利には、組成物は、高分子ナノ粒子は、体積比で樹脂混合物の10パーセント以上を構成し、高分子ナノ粒子は、体積比で樹脂混合物の75パーセントまでを構成する。

#### 【0056】

本発明のさらなる修正及び改良は、当業者には明らかであろう。したがって、本明細書に記載され、示される部分の特定の組み合わせは、本開示のある特定の実施形態を表すことを意図するのみであり、本開示の精神及び範囲内にある代替的な実施形態又は装置を限定するものではない。

30

#### 【符号の説明】

#### 【0057】

- 100 複合材構造体
- 102 複合材レイアップ
- 104 複合材プライ
- 106 層間領域
- 108 一方向プライ
- 110 繊維トウ
- 112 強化フィラメント
- 114 樹脂混合物
- 116 組成物
- 118 樹脂
- 120 強化フィラメント
- 122 樹脂混合物
- 124 樹脂混合物ひずみ
- 150 高分子ナノ粒子
- 152 粒子断面幅
- 154 ポリマー骨格

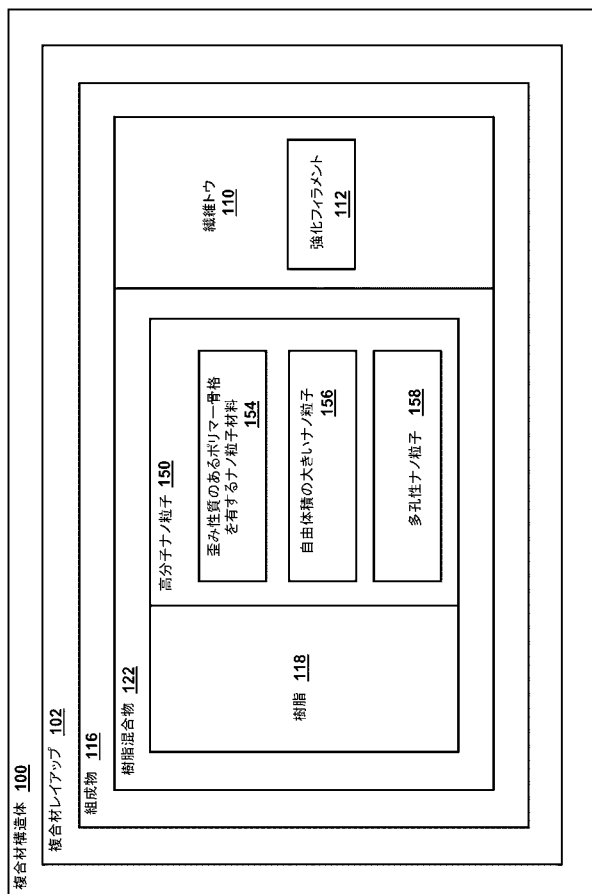
40

50

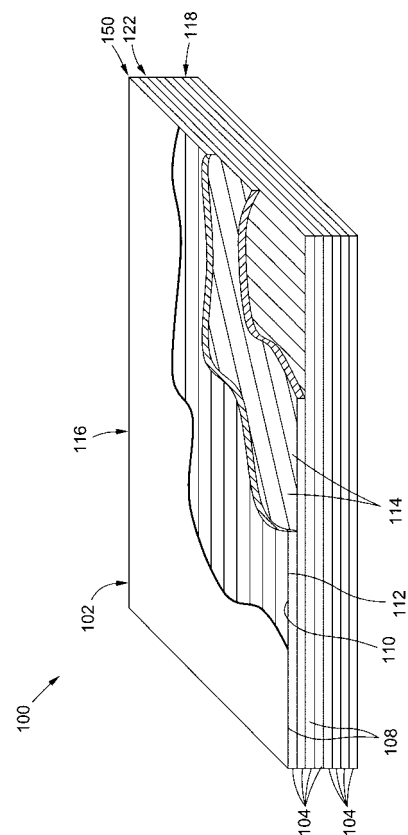
- 1 5 6 自由体積の大きい高分子ナノ粒子  
 1 5 8 多孔性高分子ナノ粒子  
 1 6 0 ナノ粒子ひずみ  
 1 6 2 拡張  
 1 6 8 2 軸引張  
 1 7 0 ポア  
 2 0 0 高分子ナノ粒子  
 2 0 2 第 1 の方向  
 2 0 4 第 2 の方向  
 2 0 6 第 3 の方向  
 2 0 8 単軸引張負荷  
 2 1 0 引張ひずみ  
 2 1 2、2 1 4 圧縮ひずみ  
 3 0 0、4 0 0 方法

10

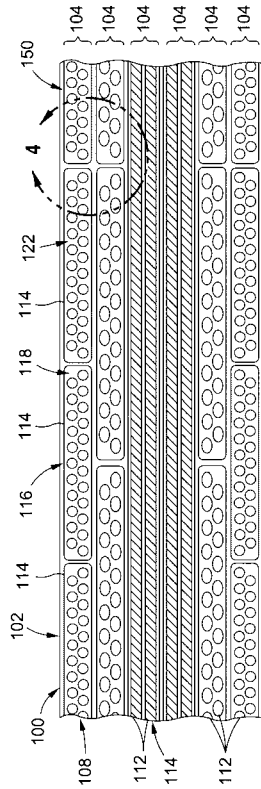
【図 1】



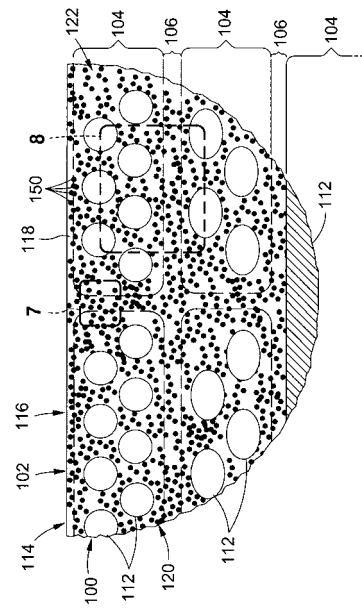
【図 2】



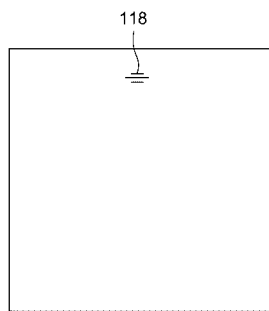
【 図 3 】



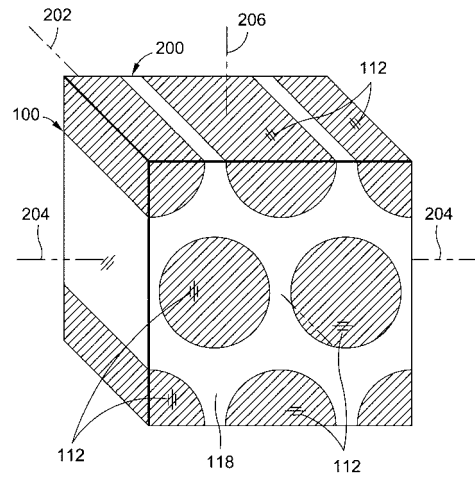
【 図 4 】



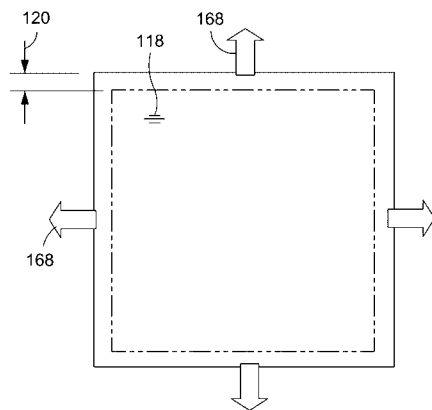
【 図 5 】



【 図 6 】

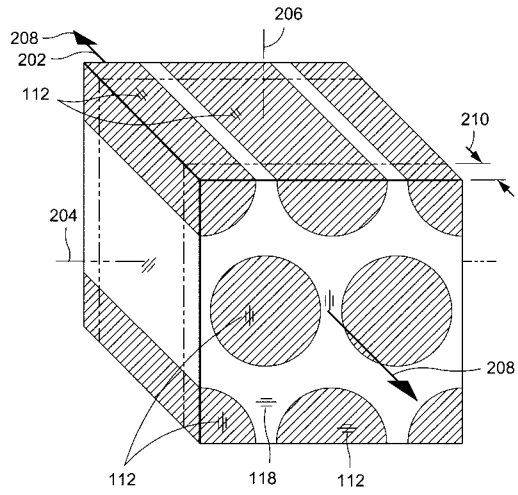


【 図 5 A 】

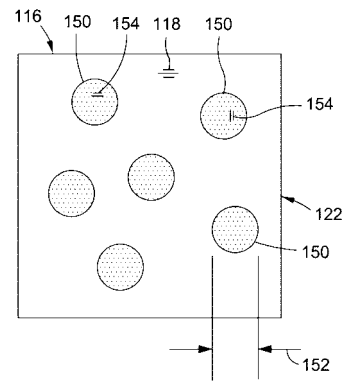




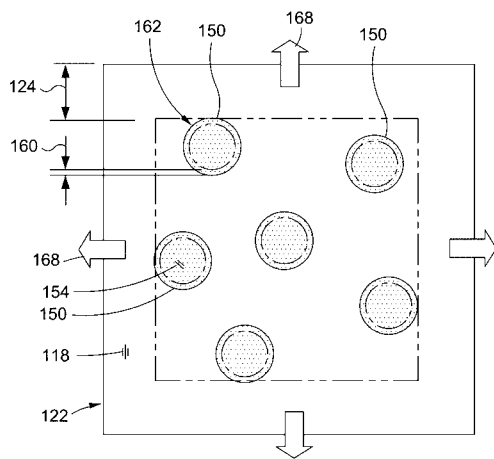
【図 6 A】



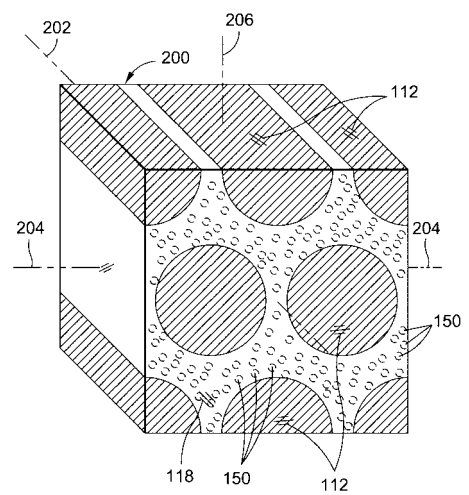
【図 7】



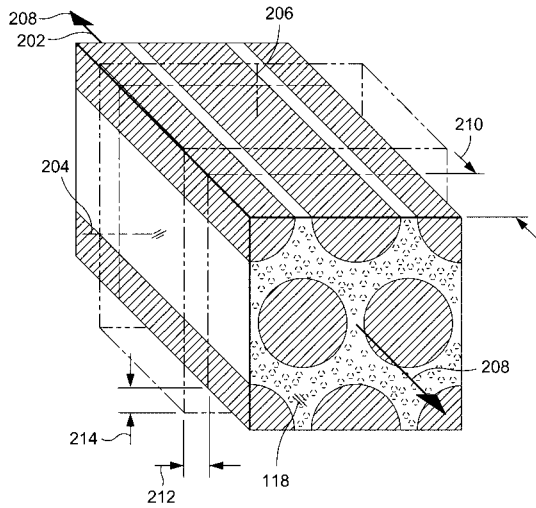
【図 7 A】



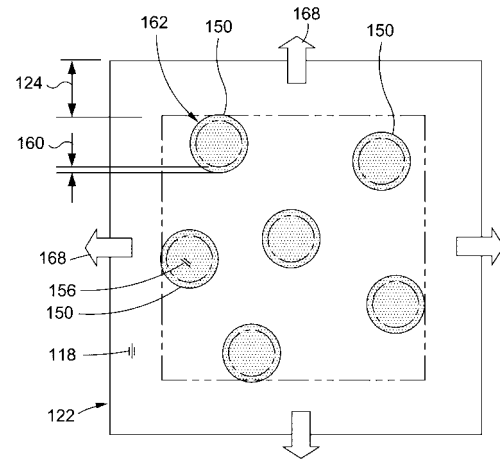
【図 8】



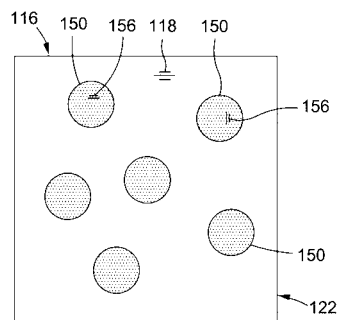
【図 8 A】



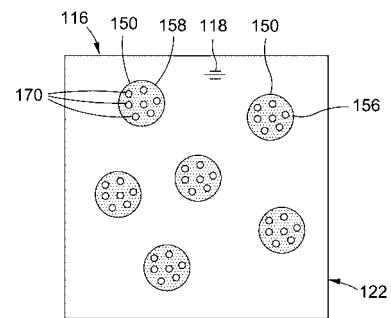
【図 9 A】



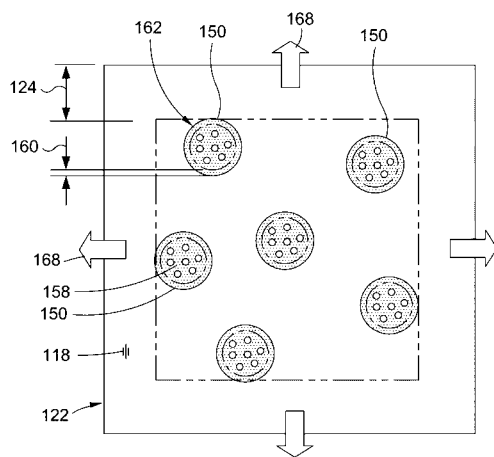
【図 9】



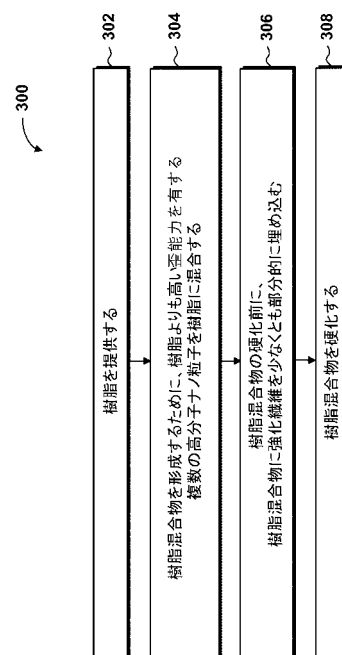
【図 10】



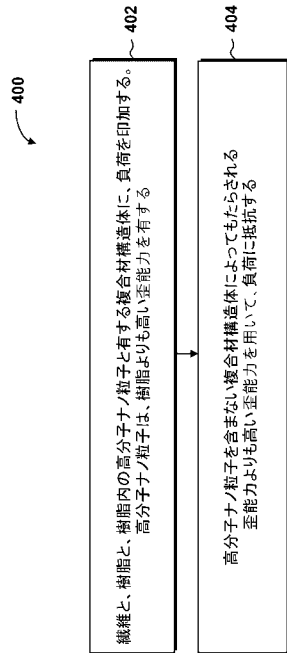
【図 10 A】



【図 11】



【図 12】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ミール, サミュエル ジェー.

アメリカ合衆国 イリノイ 60606, シカゴ, ノース リバーサイド 100

(72)発明者 コーザー, マイケル ピー.

アメリカ合衆国 イリノイ 60606, シカゴ, ノース リバーサイド 100

【外国語明細書】

2016166322000001.pdf

2016166322000002.pdf

2016166322000003.pdf

2016166322000004.pdf