

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号  
特許第5931911号  
(P5931911)

(45) 発行日 平成28年6月8日(2016.6.8)

(24) 登録日 平成28年5月13日(2016.5.13)

(51) Int.Cl.

C O 8 J 5/06 (2006.01)

F I

C O 8 J 5/06 C E R

C O 8 J 5/06 C E Z

請求項の数 8 (全 14 頁)

|               |                               |           |                              |
|---------------|-------------------------------|-----------|------------------------------|
| (21) 出願番号     | 特願2013-544489 (P2013-544489)  | (73) 特許権者 | 500520743                    |
| (86) (22) 出願日 | 平成23年11月11日 (2011.11.11)      |           | ザ・ボーイング・カンパニー                |
| (65) 公表番号     | 特表2013-545869 (P2013-545869A) |           | The Boeing Company           |
| (43) 公表日      | 平成25年12月26日 (2013.12.26)      |           | アメリカ合衆国、60606-2016           |
| (86) 国際出願番号   | PCT/US2011/060472             |           | イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100 |
| (87) 国際公開番号   | W02012/082280                 | (74) 代理人  | 100109726                    |
| (87) 国際公開日    | 平成24年6月21日 (2012.6.21)        |           | 弁理士 園田 吉隆                    |
| 審査請求日         | 平成26年11月10日 (2014.11.10)      | (74) 代理人  | 100101199                    |
| (31) 優先権主張番号  | 12/967, 512                   |           | 弁理士 小林 義敦                    |
| (32) 優先日      | 平成22年12月14日 (2010.12.14)      | (72) 発明者  | シュナイダー, テリー エル.              |
| (33) 優先権主張国   | 米国 (US)                       |           | アメリカ合衆国 ワシントン 98372          |
|               |                               |           | , ピュアラップ, 15番 アヴェニュー         |
|               |                               |           | ー サウスイースト 3702               |
|               |                               |           | 最終頁に続く                       |

(54) 【発明の名称】 ねじれ樹脂コート繊維を有する複合材料

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

繊維強化ポリマー樹脂の製造方法であって、  
強化する繊維（24）を、第1のポリマー樹脂（26）を用いてコーティングすることと、

第1のポリマー樹脂（26）のコーティングの上に第3のポリマー樹脂（28）のコーティングを塗布することと、

コーティングされた繊維を、第2のポリマー樹脂（22）に埋め込むことと  
を含み、第1のポリマー樹脂のねじれ変形能力は第2のポリマー樹脂（22）よりも大きく、第3のポリマー樹脂（28）のねじれ変形能力は、第1のポリマー樹脂（26）よりも大きい、方法。

【請求項 2】

第1のポリマー樹脂（26）は繊維（24）と比べて耐熱であるエポキシ樹脂である、  
請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

繊維（24）の弾性率は、第1のポリマー樹脂（26）の弾性率より高い、請求項1または2に記載の方法。

【請求項 4】

繊維（24）を、  
炭素繊維、

ガラス繊維、  
有機繊維、  
金属繊維、及び  
セラミック繊維

からなる群より選択することをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

向上したねじれ変形能力を有する繊維強化樹脂複合材料であって、  
ポリマー樹脂マトリックス(22)、  
マトリックス中に保持された強化繊維(24)、及び  
繊維とマトリックスとの間での荷重伝達を改善するための、繊維上のコーティング(26、28)を含み、コーティング(26、28)は、各々がポリマー樹脂マトリックス(22)の変形能力よりも大きいそれぞれ異なるねじれ変形能力を有するポリマー樹脂の外側層(28)及び内側層(26)を含んでいて、ポリマー樹脂の外側層(28)のねじれ変形能力はポリマー樹脂の内側層(26)よりも大きい、繊維強化樹脂複合材料。

10

【請求項 6】

繊維(24)にはポリマー樹脂マトリックス(22)が含まれている、請求項 5 に記載の繊維強化樹脂複合材料。

【請求項 7】

繊維(24)は、それぞれ異なる剛性または強度を有する少なくとも二組の繊維を含んでいる、請求項 5 または 6 に記載の繊維強化樹脂複合材料。

20

【請求項 8】

繊維は、  
炭素繊維、  
ガラス繊維、  
有機繊維、  
金属繊維、及び  
セラミック繊維

からなる群より選択される、請求項 5 から 7 のいずれか一項に記載の繊維強化樹脂複合材料。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本開示は、一般に、繊維強化樹脂複合材料に関するものであり、具体的には、複合構造の機械的性能を向上させるためにねじれ樹脂でコーティングした繊維を有する複合材料を扱う。

【背景技術】

【0002】

繊維強化複合材料では、繊維と周囲のマトリックスとの間のマイクロスケールレベルの荷重伝達の効率が、連続体レベルで複合体の全体的な機械的性能に直接影響を与える。繊維の存在によって実質的に影響されうるマトリックスの領域は、時に「相間領域」と呼ばれ、繊維を直接取り囲むマトリックスの界面領域である。複合材料では、繊維と周囲のマトリックスとの間での弾性剛性の不整合に起因する高い剪断ひずみを受けるのはこの相間領域である。

40

【0003】

ポリマー樹脂のねじれ能力を最大化するために種々の樹脂マトリックス組成が開発されてきたが、高い性能を呈しうる組成は、例えば、限定された流体抵抗、並びに不十分な粘着性及び/又はプリプレグの取扱寿命といった目標に満たないプリプレグの取扱特性などの限界を有する。これらの問題は、マトリックスを形成するバルクポリマー樹脂の化学的性質を変更することによって部分的に対処することができるが、このような変更は、特殊なモノマー又は添加剤の開発を必要とする場合があり、これは製品コストを上昇させうる

50

。さらに、これらの特殊な組成及び添加剤はマトリックス樹脂の流体抵抗を改善するかもしれないが、複合材料の他の性能特性を低下させうる。

【 0 0 0 4 】

繊維とマトリックスとの間での適正な荷重伝達は、炭素繊維で強化された耐熱マトリックスを用いる複合材料において、樹脂 - 繊維の界面で比較的高い熱ひずみが発生するために、特に問題となり得る。このような熱ひずみは、典型的に、所望の機械的特性を下回る硬化複合材料を産む原因となる微小亀裂に対する感受性を高めうる。

【 0 0 0 5 】

したがって、特に繊維が比較的高い弾性率を有し、マトリックスが耐熱樹脂で形成されている場合に、強化繊維と周辺の樹脂マトリックスとの間の荷重伝達能力に改善を呈する繊維強化樹脂複合材料が必要とされている。また、従来のバルク樹脂を使用し、且つ樹脂添加剤又は特殊な樹脂組成の必要性を回避するような複合材料を製造する方法が必要とされている。

【 発明の概要 】

【 0 0 0 6 】

複合材料中の強化繊維は、マトリックスを形成する周囲のバルクポリマー樹脂に比べて相対的に高いねじれ変形能力を有するポリマー樹脂でコーティングされている。このコーティングは、繊維の周囲に、繊維の不連続性又は欠陥を横切る樹脂 - 繊維間の荷重伝達を最適化するエネルギー散逸性のねじれ相間領域を生成し、それにより複合材料の機械的特性を向上させる。高度なねじれを有する樹脂で繊維をコーティングするプロセスは、バルクマトリックス樹脂を繊維に含浸する前に行うことができるので、現在の市販の繊維を既存のプリプレグ製造プロセスに利用することができる。強度及び / 又はゆがみの増加と、層間剥離及び微小亀裂に対する抵抗性の潜在的向上といった現在の複合材料の機械的性能の実質的な改善は、ねじれ繊維コーティングによって達成される。ねじれ樹脂でコーティングされた繊維の使用も、弾性繊維（例えば、限定されないが、炭素繊維）と、耐熱樹脂マトリックスとの間の樹脂 - 繊維界面で発生する過度の熱ひずみによる悪影響の軽減を助けることができる。高ねじれ樹脂でコーティングされた強化繊維を採用した複合構造は、重量及びコストを削減できる最適化された複合材料の設計を可能にする。

【 0 0 0 7 】

開示される一実施形態によれば、第 1 のポリマー樹脂で強化繊維をコーティングすることと、第 2 のポリマー樹脂に、コーティングされた繊維を埋め込むことを含む繊維強化ポリマー樹脂の作製方法が提供される。第 1 のポリマー樹脂のねじれ変形能力は第 2 ポリマー樹脂よりも大きく、第 1 のポリマー樹脂は、エポキシのような、高い変形能を呈するように特に設計されている種々の樹脂化学のいずれであってもよい。繊維は、第 1 のポリマー樹脂の弾性率と比較して高い弾性率を有することができる。この方法はさらに、炭素繊維、ガラス繊維、有機繊維、金属繊維及びセラミック繊維からなる群より繊維を選択することを含む。この方法はまた、第 1 ポリマー樹脂のコーティングの上に第 3 のポリマー樹脂のコーティングを適用することを含み、ここで第 3 のポリマー樹脂は、第 1 のポリマー樹脂よりも大きい第 2 のポリマー樹脂より小さいねじれ変形能力を有する。

【 0 0 0 8 】

別の実施形態によれば、ポリマー樹脂マトリックスを提供することと、樹脂マトリックスを強化する繊維を提供することとを含む繊維強化ポリマー複合材料の作製方法が提供される。この方法はさらに、マトリックス中に繊維を埋め込むことと、繊維とマトリックスとの間での荷重伝達を改善するために、繊維とマトリックスとの間にねじれ相間領域を形成することとを含む。相間領域を形成することは、樹脂マトリックスとは異なる少なくとも 1 つの特性を有するポリマーねじれ樹脂で繊維をコーティングすることを含む。少なくとも 1 つの特性は、流体抵抗、高い弾性率、高温性能、加工性、及び取扱特性からなる群より選択される。マトリックス中に繊維を埋め込むことは、マトリックス樹脂を繊維に含浸することと、マトリックスを硬化させることとを含む。繊維を提供することは、炭素繊維、有機繊維、金属繊維及びセラミック繊維からなる群より繊維を選択することを含む。樹

10

20

30

40

50

脂マトリックスを強化するための繊維を提供することは、それぞれ異なる弾性率を選択的に有する二組の繊維を提供することを含み、繊維とマトリックスとの間にねじれ相間領域を形成することは、各組の繊維を、各々がバルクマトリックス樹脂よりも高いねじれ変形能力を有する異なるポリマー樹脂でコーティングすることを含む。

【0009】

開示されるさらに別の実施形態によれば、繊維強化樹脂複合材料は、ポリマー樹脂マトリックスと、マトリックス中に保持された強化繊維と、繊維とマトリックスとの間での荷重伝達を改善する繊維上のコーティングとを含んでいる。コーティングは、樹脂マトリックスよりも大きいねじれ変形能力を有するポリマー樹脂を含んでいる。コーティングは、各々が樹脂マトリックスのねじれ変形能力よりも大きい、それぞれ異なるねじれ変形能力を有するポリマー樹脂の、第1の層及び第2の層を含む。繊維にはマトリックス樹脂が含浸されており、繊維はそれぞれ異なる剛性又は強度を有する少なくとも二組のマトリックス樹脂を含むことができる。

10

【0010】

さらなる実施形態によれば、繊維強化樹脂複合材料は、ポリマー樹脂マトリックスと、マトリックス中に保持された強化繊維と、樹脂マトリックスより高いねじれ変形能力を有する相間領域とを含んでいる。相間領域は、繊維上の少なくとも第1のポリマー樹脂コーティングによって画定される。相間領域は、第1のポリマーコーティング上の第2のポリマー樹脂コーティングによって画定することができる。第1ポリマー樹脂コーティングは耐熱樹脂であってもよい。

20

【0011】

繊維強化ポリマー樹脂作製方法は、  
第1ポリマー樹脂で強化繊維をコーティングすることと、  
コーティングされた繊維を第2ポリマー樹脂中に埋め込むこととを含む。

【0012】

この方法では、第1のポリマー樹脂のねじれ変形能力が第2のポリマー樹脂のねじれ変形能力よりも大きい。

【0013】

この方法では、第1ポリマー樹脂は耐熱樹脂である。

30

【0014】

この方法では、繊維は、第1ポリマー樹脂の弾性率に比べて高い弾性率を有する。

【0015】

この方法は、さらに、  
炭素繊維、  
ガラス繊維、  
有機繊維、  
金属繊維、及び  
セラミック繊維  
からなる群より繊維を選択することを含む。

40

【0016】

この方法は、さらに、  
第1のポリマー樹脂のコーティングの上に第3のポリマー樹脂のコーティングを適用することを含み、ここで、第3のポリマー樹脂は、第1のポリマー樹脂よりも大きい第2のポリマー樹脂より小さいねじれ変形能力を有している。

【0017】

繊維強化ポリマー複合材料の別の作製方法は、  
ポリマー樹脂マトリックスを形成することと、  
樹脂マトリックスを補強する繊維を提供することと、  
マトリックス中に繊維を埋め込むことと、

50

繊維とマトリックスとの間での荷重伝達を改善するために、繊維とマトリックスとの間にねじれ相間領域を形成することとを含む。

【 0 0 1 8 】

この方法では、相間領域を形成することは、樹脂マトリックスとは異なる少なくとも 1 つの特性を有するポリマーねじれ樹脂で繊維をコーティングすることを含む。

【 0 0 1 9 】

この方法では、少なくとも 1 つの特性は、  
流体抵抗  
高弾性率、  
高温性能、  
加工性、及び  
取扱特性  
からなる群より選択される。

10

【 0 0 2 0 】

この方法では、マトリックス中に繊維を埋め込むことは、  
繊維にマトリックス樹脂を含浸することと、  
マトリックスを硬化させることと  
を含む。

20

【 0 0 2 1 】

この方法では、繊維を提供することは、  
炭素繊維、  
ガラス繊維、  
有機繊維、  
金属繊維、及び  
セラミック繊維  
からなる群より繊維を選択することを含む。

【 0 0 2 2 】

この方法では、  
樹脂マトリックスを強化する繊維を提供することは、それぞれ異なる弾性率を有する二組の繊維を提供することを含み、  
繊維とマトリックスとの間にねじれ相間領域を形成することは、各々がマトリックス樹脂よりも高いねじれ変形能力を有する異なるポリマー樹脂で各組に含まれる繊維をコーティングすることを含む。

30

【 0 0 2 3 】

この方法では、  
相間領域を形成することは、マトリックス樹脂よりも大きいねじれ変形能力を有するポリマーねじれ樹脂で繊維をコーティングすることを含み、  
マトリックス中に繊維を埋め込むことは、コーティングされた繊維を使用して繊維プリフォームを形成することと、プリフォームにマトリックス樹脂を含浸することとを含む。

40

【 0 0 2 4 】

改良されたねじれ変形能力を有する繊維強化樹脂複合材料は、  
ポリマー樹脂マトリックスと、  
マトリックス中に保持された強化繊維と、  
繊維とマトリックスとの間での荷重伝達を改善するための、繊維上のコーティングと  
を含む。

【 0 0 2 5 】

この繊維強化樹脂複合材料では、  
コーティングは、樹脂マトリックスよりも大きいねじれ変形能力を有するポリマー樹脂  
を含む。

50

## 【 0 0 2 6 】

この繊維強化樹脂複合材料では、

コーティングは、各々が樹脂マトリックスのねじれ変形能力よりも大きい、それぞれ異なるねじれ変形能力を有するポリマー樹脂の、第 1 及び第 2 の層を含む。

## 【 0 0 2 7 】

この繊維強化樹脂複合材料では、繊維にはマトリックス樹脂が含浸されている。

## 【 0 0 2 8 】

この繊維強化樹脂複合材料では、

繊維は、それぞれ異なる剛性又は強度を有する少なくとも二組の繊維を含む。

## 【 0 0 2 9 】

この繊維強化樹脂複合材料では、繊維は、

炭素繊維、

ガラス繊維、

有機繊維、

金属繊維、及び

セラミック繊維

からなる群より選択される。

## 【 0 0 3 0 】

別の繊維強化樹脂複合材料は、

ポリマー樹脂マトリックスと、

マトリックス中に保持された強化繊維と、

樹脂マトリックスより高いねじれ変形能力を有する、繊維を取り囲む相間領域とを含む。

## 【 0 0 3 1 】

この繊維強化樹脂複合材料では、相間領域は、繊維上の少なくとも第 1 のポリマー樹脂コーティングによって画定される。

## 【 0 0 3 2 】

この繊維強化樹脂複合材料では、相間領域は、第 1 のポリマーコーティング上の第 2 のポリマー樹脂コーティングによって画定される。

## 【 0 0 3 3 】

この繊維強化樹脂複合材料では、第 1 のポリマー樹脂コーティングは耐熱樹脂である。

## 【 0 0 3 4 】

強度を高めた繊維強化樹脂複合材料のさらなる作製方法は、

それぞれ異なる第 1 組及び第 2 組の強化繊維を提供することであって、炭素繊維、ガラス繊維、有機繊維、金属繊維及びセラミック繊維からなる群より、第 1 組及び第 2 組の各々に含まれる繊維を選択することを含む、第 1 組及び第 2 組の強化繊維を提供することと、

第 1 組に含まれる各繊維に、少なくとも 1 つの第 1 のポリマー樹脂のコーティングを塗布することと、

第 2 組に含まれる各繊維に、少なくとも 1 つの第 2 のポリマー樹脂のコーティングを塗布することであって、第 1 及び第 2 のポリマー樹脂の各々はそれぞれ異なる特性を有する、塗布することと、

第 1 及び第 2 の組に含まれる繊維に、第 1 及び第 2 の樹脂の各々より小さいねじれ変形能力を有するポリマー樹脂を含浸することと、

含浸させた繊維を硬化させて、繊維が埋め込まれた実質的に均一な樹脂マトリックスを形成することであって、繊維とマトリックスとの間での荷重伝達を改善する相間領域が繊維とマトリックスとの間に存在している、樹脂マトリックスを形成することとを含む。

## 【 0 0 3 5 】

また別の繊維強化樹脂複合材料は、

異なる繊維特性をそれぞれ有する少なくとも二組の強化繊維であって、各組が、炭素繊維、ガラス繊維、有機繊維、金属繊維及びセラミック繊維の一つを含む、少なくとも二組の強化繊維と、

第 1 の組に含まれる繊維上の、第 1 のポリマー樹脂のコーティングと、

第 2 の組に含まれる繊維上の、第 2 のポリマー樹脂のコーティングと、

第 1 及び第 2 の組の繊維を保持し、第 1 及び第 2 のポリマー樹脂よりも小さいねじれ変形能力を有するポリマー樹脂マトリックスと

を含んでおり、繊維上のコーティングが、繊維とマトリックスとの間での荷重伝達を改善するための相間領域を形成している。

【図面の簡単な説明】

10

【0036】

【図 1】図 1 は、ねじれ樹脂をコーティングした強化繊維を用いた複合材料の機能的ブロック図である。

【図 2】図 2 は、ねじれ樹脂をコーティングした直径の小さなフィラメントの束を用いた繊維トウ又はストランドの断面図である。

【図 3】図 3 は、図 2 に「3」で示した領域を示す、ねじれ樹脂をコーティングしたフィラメントの断面図である。

【図 4】図 4 は、ねじれ樹脂コーティングを有する個々のフィラメントの断面図である。

【図 5】図 5 は、図 3 と同様の図であるが、異なる弾性率又は強度とねじれ樹脂コーティングとを有する二種類の強化繊維の使用を示す。

20

【図 6】図 6 は、複数のねじれ樹脂コーティングを有する繊維の断面図である。

【図 7】図 7 は、ねじれ樹脂でコーティングされた不連続な強化繊維を有する複合材料の断面図である。

【図 8】図 8 は、ねじれ樹脂でコーティングされた繊維を用いた複合構造の製造方法のフロー図である。

【図 9】図 9 は、航空機の製造及び保守方法のフロー図である。

【図 10】図 10 は航空機のブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0037】

図 1 ~ 4 に示すように、複合材料 20 は、バルク樹脂マトリックス 22 中に埋め込まれた強化繊維 24 を備える。強化繊維 24 は、連続でも、不連続（例えば、短繊維）でもよく、限定しないが、炭素、ガラス、有機物、金属、セラミック、及びその他を含む様々な材料のいずれかから形成することができる。開示された実施形態によれば、繊維 24 は、その上に、周囲のバルク樹脂マトリックス 22 のねじれ変形能力より高いねじれ変形能力を有するポリマーねじれ樹脂コーティング 26 を有している。ねじれコーティング 26 により、極限強度及び/又はひずみの増大、並びに層間剥離及び微小亀裂に対する抵抗性の潜在的改善といった、複合材料 20 の機械的性能の大幅な改善がもたらされる。

30

【0038】

樹脂コーティング 26 のねじれ変形能力は、ミーゼスひずみ能力の観点から表現することができ、繊維 24 と周囲の樹脂マトリックス 22 との間に最適な樹脂 - 繊維間の荷重伝達能力を達成するために、バルク樹脂マトリックス 22 より高い。ミーゼスひずみ又は応力は、材料中の任意の地点における主な応力の組み合わせから得られる指標であり、材料のいずれの地点で応力により故障が発生するかを決定することができる。マトリックス 22 を形成するバルクポリマー樹脂は、低いミーゼスひずみ能力に現れる、繊維 24 より低いねじれ能力を有し、複合材料 20 の全体的な機械的性能は、繊維 24 の各々をとり囲む個別のねじれ相間領域 25 を形成することにより大幅に向上する。相間領域 25 は、複合材料 20 中において、繊維 24 とマトリックス 22 との間の弾性剛性の不整合に起因する高い剪断ひずみを受ける領域である。加えられた力に対するポリマー樹脂マトリックス 22 のねじれ又は偏差応答は、ひずみバイアスに応答するポリマー鎖の特定の容積又はセグメントの急激なせん断変換又は共同運動とみなすことができる。繊維 24 上のねじれ樹脂コ

40

50

ーティング 26 は、特にマトリックス 22 に耐熱樹脂を用いた複合材料 20 において、相間領域 25 に生じる過度の熱ひずみによって生成される横方向の微小亀裂の影響を軽減するのにも有益でありうる。

#### 【0039】

このねじれ樹脂コーティング 26 は、米国特許第 7745549 号に記載のポリマー樹脂と類似であり、同特許の開示内容全体は参照により本明細書に組み込まれる。前述の米国特許の開示されたポリマー樹脂は、ミーゼスひずみ関係に表されるように、ねじれ変形の増大、及び／又は膨張負荷の低減を呈す。先述の米国特許に説明されているように、繊維性能は、既知の複合材料に使用される熱硬化樹脂のマトリックスに必須のねじれ能力が低いことによる限界を有する。この先行米国特許に開示された複合ポリマーマトリックスでは、ねじれ変形が改善され（すなわち増大し）、及び／又は膨張負荷が減少（すなわち低下）しており、ミーゼスひずみが増大し、複合材料の性能が強化されている。

10

#### 【0040】

ねじれ能力が改善された樹脂は、繊維中の故障発生部位と考えられる繊維中のマイクロスケールの欠陥の周囲で、繊維に荷重がかかるときに繊維の長手軸に沿って加重を伝達することができることと仮定することができる。欠陥の周囲に荷重を再分配することができることにより、繊維は故障せずに荷重を支持し続けることができる。加えられた力に応答してねじれを受けるポリマーマトリックスの能力の分子的基础は、ポリマー鎖の特定の容積又はセグメントの共同運動によるものと理論化されている。したがって、加えられた力と共形に調整することができる分子構造は、そのねじれ応答を受けて増加させるポリマーの能力を強化する。

20

#### 【0041】

図 2 は、マトリックス 22（図 1）を形成する樹脂を予め含浸した単一の繊維トウを示しており、各々がマトリックス樹脂によって囲まれたねじれコーティング 26 を有する個々のフィラメント又は繊維 24 の重複を含んでいる。ねじれ樹脂コーティング 26 は、限定しないが、浸漬、及び噴霧を含む様々な従来技術のいずれかを用いて繊維 24 に適用することができる。コーティング 26 の厚さ「t」（図 4）は、複合材料 20 の特定の用途及び性能要件によって決まる。バルク樹脂マトリックス 22 は、高性能な構造複合材に使用される種々のポリマー樹脂のいずれかを含むことができる。

#### 【0042】

30

前述のように、繊維強化複合材料では、マイクロスケールレベルでの強化繊維 24 と周囲のマトリックス 22 との間の荷重伝達の効率が、実質的に複合材料 20 の全体的な機械的性能に影響を与える。繊維 24 の存在によって影響を受けるマトリックス 20 の重要な領域は、相間領域 25 である。この相間領域 25 は、繊維 24 の高い弾性剛性と周囲のマトリックス 22 の低い弾性剛性との不整合に起因する相対的に高いせん断ひずみを受ける。

#### 【0043】

マトリックス 22 を形成するポリマー樹脂は、ねじれ樹脂コーティング 26 とは異なる所望の物理的特性を有する任意の適切な市販の又は特別仕様の樹脂系とすることができる。このような物理的特性の相違により、ねじれ樹脂コーティング 26 は、マトリックス 22 よりも高いねじれ能力を有する。例えば、限定しないが、マトリックス 22 に使用されてそのねじれ能力に影響を及ぼすバルクポリマー樹脂の典型的な物理的特性には、限定されないが、ねじれ樹脂コーティング 26 と比較した場合の、優れた流体抵抗、高い弾性率、高い高温性能、加工性及び／又は取扱特性の向上（例えば、粘着性の度合い及び粘着性の持続性）が含まれる。

40

#### 【0044】

複合材料 20 がプリプレグから製造される場合、繊維 24 にマトリックス 22 を形成するバルク樹脂を含浸する前に、ポリマーねじれ樹脂コーティング 26 を繊維 24 に適用することができる。コーティング 26 を適用した後で繊維 24 を含浸することにより、繊維 24 をコーティングするために種々の周知のプロセスを用いることができる。硬化後、樹

50



脂を含浸した、コーティングされた繊維 24 は、周囲のマトリックス 22 に埋め込まれる。複合材料 20 は、ねじれ樹脂をコーティングした繊維プリフォーム（図示せず）に、マトリックス樹脂を注入することにより製造することもできる。樹脂を注入したプリフォームを硬化させる間に、ねじれ樹脂コーティングされた繊維はマトリックス 22 に埋め込まれる。

#### 【0045】

図 5 は、高い弾性と低い弾性をそれぞれ有する二組の強化樹脂 24 a、24 b を有する複合材料 20 を示している。異なる弾性率を有する繊維 24 a、24 b を有する複合材料 20 は、時にハイブリッド複合材料と呼ばれる。繊維 24 a、24 b の弾性係数が異なることにより、これらの繊維 24 a、24 b 間に熱的不整合が生じ、これにより複合材料 20 に微小亀裂が生じうる。しかしながら、開示される実施形態によれば、繊維 24 a、24 b の上にねじれ樹脂コーティング 26 を適用することにより、ねじれコーティング 26 の分子レベル配置により熱ひずみの不整合が調整される。いくつかの実施形態では、異なる繊維部 24 a、24 b に対して、熱ひずみの不整合を調整するために役立つそれぞれ異なる物理的特性を有する異なるコーティング 26 a、26 b を、それぞれ適用することができる。

10

#### 【0046】

図 6 に示すように、一部の用途では、繊維 24 とマトリックス 22 を形成する周囲のバルク樹脂との間での荷重伝達能力を増加させる遷移領域を形成するために、繊維 24 の上に、それぞれ異なるねじれ変形能力を有するねじれ樹脂の多重コーティング 26、28 を適用することが望ましい。この実施例では、外側のコーティング 28 のねじれ変形能力は、内側のコーティング 26 よりも大きい。

20

#### 【0047】

図 7 は、各々がねじれコーティング 26 を有する短繊維とも呼ばれる不連続な繊維 30 で強化されたポリマーマトリックス 22 を含む複合材料 20 を示す。

#### 【0048】

次に図 8 を参照する。図 8 は、前述の複合材料 20 を用いた複合構造体（図示せず）の製造方法の工程を概略的に示している。32 で開始され、適用に適した強化繊維 24 が提供される。この繊維は、前述のように、連続していてもよく、又は不連続であってもよい。34 では、繊維 24 を、マトリックス 22 を形成するポリマー樹脂よりも大きいねじれ能力を有するねじれポリマー樹脂でコーティングする。

30

#### 【0049】

一実施形態では、ステップ 36 で、コーティングされた繊維 24 にバルクマトリックス樹脂を含浸し、そしてステップ 37 において、含浸した、コーティングされた繊維 24 をプリプレグに成形する。プリプレグは、プリプレグトウ、プリプレグテープ、又はプリプレグ布を含むことができる。38 では、複合構造体をレイアップし、プリプレグを用いて成形する。別の実施形態では、ステップ 40 に示すように、樹脂をコーティングした繊維 24 を使用して、乾燥した、又は実質的に乾燥した繊維プリフォームを生成し、ステップ 42 において、例えば真空補助樹脂トランスファー成形法を用いて、このプリフォームにバルクマトリックス樹脂を注入する。最後に、44 において、構造体を硬化させる。硬化中に、ねじれ樹脂でコーティングした繊維 24 を周囲のマトリックス 22 に埋め込む結果、繊維 24 とマトリックス 22 との間に前述の相間領域 25 が形成される。

40

#### 【0050】

一部の用途では、硬化プロセス中にねじれ樹脂コーティング 26 の移動を制御することが必要である。この問題に対する一の解決策では、マトリックス 22 を形成するバルク樹脂よりも高い粘度を有するようにねじれポリマー樹脂コーティング 26 を配合する。硬化時、ねじれ樹脂 26 は、その高い粘度と流れにくいこととにより繊維の表面に保持される。この問題の別の解決法は、繊維 24 をコーティングした後で、ねじれコーティングを有する繊維 24 を、適切に上昇させた温度に曝すことにより、ねじれ樹脂をわずかに交差結合（硬化）させ、それによりその粘度及び繊維 24 に対する接着性を増加させることであ

50

る。

【 0 0 5 1 】

次に図 9 及び 10 を参照する。図 9 及び 10 に示す本発明の実施形態は、図 9 に示す航空機の製造及び保守方法 46、及び図 10 に示す航空機 48 という観点から使用されている。製造前の段階では、例示的な方法 46 は、航空機 48 の仕様及び設計 50 と、材料調達 52 とを含みうる。製造段階では、航空機 48 のコンポーネント及びサブアセンブリの製造 54 と、システムインテグレーション 56 とが行われる。ステップ 54 の間に、開示される方法及び装置を利用して、部品を形成する複合部品を作製し、次いでステップ 56 においてこれらの部品を組み立てる。その後、航空機 48 は認可及び納品 58 を経て使用 60 される。顧客により使用される間に、航空機 48 は定期的な整備及び保守 62（改造、再構成、改修なども含みうる）を受ける。

10

【 0 0 5 2 】

方法 46 の各プロセスは、システムインテグレーター、第三者、及び/又はオペレーター（例えば顧客）によって実施又は実行されうる。本明細書の目的のために、システムインテグレーターは、限定しないが、任意の数の航空機製造者、及び主要システムの下請業者を含むことができ、第三者は、限定しないが、任意の数のベンダー、下請業者、及び供給業者を含むことができ、オペレーターは、航空会社、リース会社、軍事団体、サービス機関などでありうる。

【 0 0 5 3 】

図 10 示すように、例示的方法 46 によって製造された航空機 48 は、複数のシステム 66 及び内装 68 と共に機体 64 とを含むことができる。開示される方法及び装置は、機体 64 又は内装 68 の部品を形成する複合部品を作製するために使用される。高レベルのシステム 66 の例には、推進システム 70、電気システム 72、油圧システム 74、及び環境システム 76 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てもよい。航空宇宙産業の例を示したが、本発明の原理は、自動車産業などの他の産業にも適用しうる。

20

【 0 0 5 4 】

本明細書で具現化した装置は、製造及び保守方法 46 の一又は複数の段階で使用可能である。例えば、製造プロセス 54 に対応するコンポーネント又はサブアセンブリは、航空機 48 の使用中に製造されるコンポーネント又はサブアセンブリに類似の方法で作製又は製造される。また、一又は複数の装置の実施形態は、例えば、航空機 48 の組立てを実質的に効率化するか、又は航空機 48 のコストを削減することにより、製造段階 54 及び 56 の間に利用することができる。同様に、一又は複数の装置の実施形態を、航空機 48 の使用中に、例えば限定しないが整備及び保守 62 に利用することができる。

30

【 0 0 5 5 】

特定の例示の実施形態に関連させて本発明の実施形態を説明したが、これらの特定の実施形態は説明を目的としているのであって、限定を目的とするものではなく、当業者には他の変形例も想起可能であろう。

また、本願は以下に記載する態様を含む。

（態様 1）

繊維強化ポリマー樹脂の製造方法であって、

強化する繊維を、第 1 のポリマー樹脂を用いてコーティングすることと、

コーティングされた繊維を、第 2 のポリマー樹脂に埋め込むことと

を含む方法。

40

（態様 2）

第 1 のポリマー樹脂のねじれ変形能力は第 2 のポリマー樹脂よりも大きい、態様 1 に記載の方法。

（態様 3）

第 1 のポリマー樹脂は耐熱樹脂である、態様 2 に記載の方法。

（態様 4）

50

繊維の弾性率は、第 1 のポリマー樹脂の弾性率より高い、態様 2 に記載の方法。

(態様 5)

繊維を、

炭素繊維、

ガラス繊維、

有機繊維、

金属繊維、及び

セラミック繊維

からなる群より選択することをさらに含む、態様 1 に記載の方法。

(態様 6)

第 1 のポリマー樹脂のコーティングの上に第 3 のポリマー樹脂のコーティングを適用することをさらに含み、第 3 のポリマー樹脂のねじれ変形能力は、第 1 のポリマー樹脂よりも大きい第 2 のポリマー樹脂よりも小さい、態様 1 に記載の方法。

(態様 7)

向上したねじれ変形能力を有する繊維強化樹脂複合材であって、

ポリマー樹脂マトリックス、

マトリックス中に保持された強化繊維、及び

繊維とマトリックスとの間での荷重伝達を改善するための、繊維上のコーティングを含む繊維強化樹脂複合材料。

(態様 8)

コーティングは、樹脂マトリックスよりも大きいねじれ変形能力を有するポリマー樹脂を含んでいる、態様 7 に記載の繊維強化樹脂複合材料。

(態様 9)

コーティングは、各々が樹脂マトリックスのねじれ変形能力よりも大きなそれぞれ異なるねじれ変形能力を有するポリマー樹脂の第 1 及び第 2 の層を含んでいる、態様 7 に記載の繊維強化樹脂複合材料。

(態様 10)

繊維にはマトリックス樹脂が含浸している、態様 7 に記載の繊維強化樹脂複合材料。

(態様 11)

繊維は、それぞれ異なる剛性及び強度を有する少なくとも二組の繊維を含んでいる、態様 7 に記載の繊維強化樹脂複合材料。

(態様 12)

繊維は、

炭素繊維、

ガラス繊維、

有機繊維、

金属繊維、及び

セラミック繊維

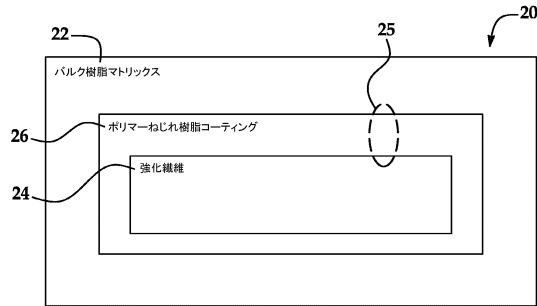
からなる群より選択される、態様 7 に記載の繊維強化樹脂複合材料。

10

20

30

【図 1】



【図 2】

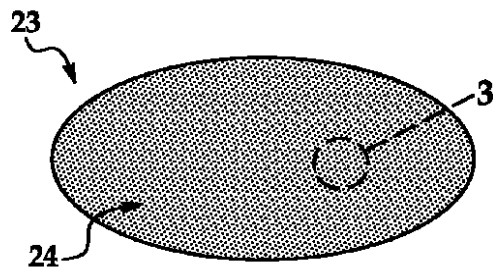


FIG. 2

【図 3】

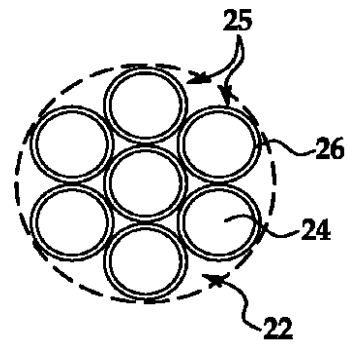


FIG. 3

【図 4】

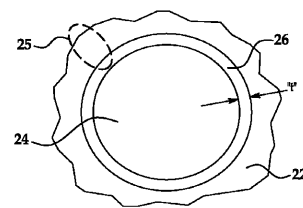


FIG. 4

【図 5】

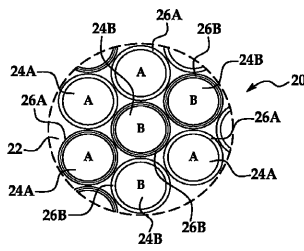


FIG. 5

【図 7】

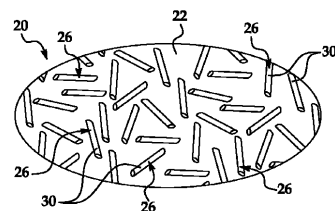


FIG. 7

【図 6】

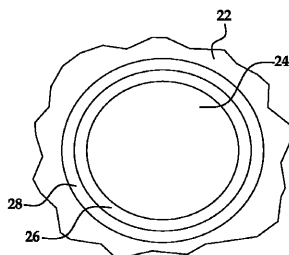
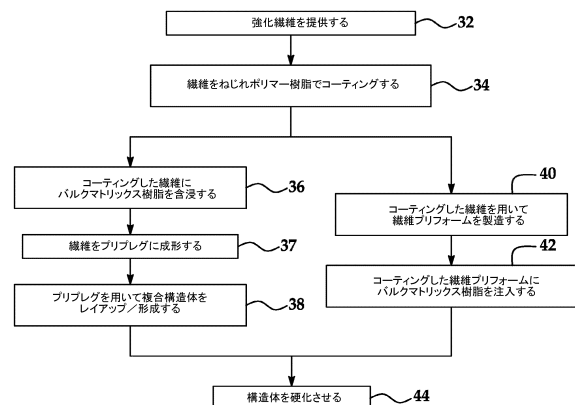
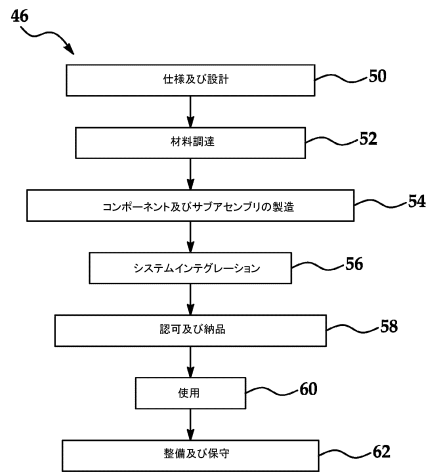


FIG. 6

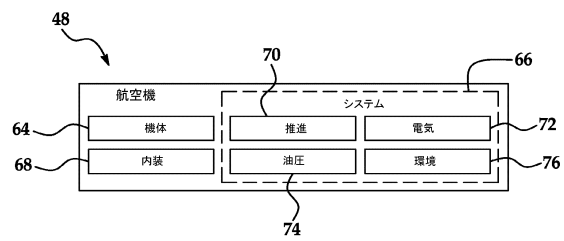
【図 8】



【図 9】



【図 10】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 クリステンセン, スティーヴン  
アメリカ合衆国 ワシントン 98075, サマミッシュ, サウスイースト 17番 プレイ  
ス 23416
- (72)発明者 ゴス, ジョナサン エイチ.  
アメリカ合衆国 ワシントン 98027, イサクア, ノースウェスト モントゥルー ドラ  
イブ 18109

審査官 松岡 美和

- (56)参考文献 特開2012-077426(JP,A)  
特開平06-287320(JP,A)  
国際公開第2010/007163(WO,A1)  
特開昭49-065927(JP,A)  
特開昭62-275133(JP,A)  
米国特許第06689463(US,B1)  
特許第4134724(JP,B2)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
C08J 5/04 - 5/10、5/24  
B29B 11/16、15/08 - 15/14