

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6941422号  
(P6941422)

(45) 発行日 令和3年9月29日(2021.9.29)

(24) 登録日 令和3年9月8日(2021.9.8)

(51) Int.Cl.

F 1

<b>B64D 45/02</b>	<b>(2006.01)</b>	B 64 D	45/02
<b>B32B 5/00</b>	<b>(2006.01)</b>	B 32 B	5/00
<b>B32B 5/28</b>	<b>(2006.01)</b>	B 32 B	5/28
<b>B32B 7/025</b>	<b>(2019.01)</b>	B 32 B	7/025
<b>B64C 1/00</b>	<b>(2006.01)</b>	B 64 C	1/00

請求項の数 17 外国語出願 (全 14 頁)

(21) 出願番号

特願2016-193484 (P2016-193484)

(22) 出願日

平成28年9月30日 (2016.9.30)

(65) 公開番号

特開2017-71388 (P2017-71388A)

(43) 公開日

平成29年4月13日 (2017.4.13)

審査請求日 令和1年9月12日 (2019.9.12)

(31) 優先権主張番号 14/875, 297

(32) 優先日 平成27年10月5日 (2015.10.5)

(33) 優先権主張国・地域又は機関

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 100086380

弁理士 吉田 梢

(74) 代理人 100103078

弁理士 田中 達也

(74) 代理人 100130650

弁理士 鈴木 泰光

(74) 代理人 100135389

弁理士 白井 尚

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体及び外板留め具から雷電流をそらす方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体であって、皿部を形成する内側面と外側面を備えた複数の事前成形された円錐形の傾斜凹部を有する導電層と、

前記導電層の前記複数の事前成形された円錐形の傾斜凹部の前記内側面上に設けられるとともに前記内側面上に沿う形状の1つ又は複数の炭素繊維強化プラスチック(CFRP)複合材層と、

前記導電層内の前記複数の傾斜凹部及び隣接する前記CFRP複合材層を通って延びる複数の穴であって、前記導電層内の前記複数の事前成形された円錐形の傾斜凹部のそれぞれが前記複数の穴のうちの関連のある穴の開口内に延びる皿部を規定するように形成された穴と、を含み、

前記導電層が前記事前成形された円錐形の傾斜凹部内に延びていることにより、前記複数の穴内に取り付けられた導電性皿形留め具のヘッド部と接触する、それぞれの穴内に延びる円錐形の皿部を規定する導電表面領域を構成している、多層複合材構造体。

## 【請求項2】

前記導電層の前記外側面上に共硬化されたガラス繊維又は表面フィルム層をさらに含み、前記ガラス繊維又は前記表面フィルム層は前記事前成形された円錐形の傾斜凹部から取り除かれる、請求項1に記載の留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体。

**【請求項 3】**

前記導電層と前記 C F R P 複合材層の間に設けられた、前記導電層と一体化された接着層をさらに含み、前記導電層、前記接着層及び前記 C F R P 複合材層は、成形型上で共硬化されている、請求項 1 に記載の留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体。

**【請求項 4】**

前記傾斜凹部内に挿入された複数の円錐ワッシャをさらに含む、請求項 1 に記載の留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体。

**【請求項 5】**

各留め具の円錐形のヘッド部が各円錐ワッシャと導電的に係合している、請求項 4 に記載の留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体。 10

**【請求項 6】**

前記導電層は、ワイヤメッシュである、請求項 1 に記載の留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体。

**【請求項 7】**

前記ワイヤメッシュは、銅、ニッケル、又はアルミニウムの組から選択されたエキスパンドメタル箔である、請求項 6 に記載の留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体。

**【請求項 8】**

前記エキスパンドメタル箔は、0.001 ~ 0.005 インチの間の厚さを有する、請求項 7 に記載の留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体。 20

**【請求項 9】**

留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体であって、皿部を形成する内側面と外側面を備えた複数の事前成形された円錐形の傾斜凹部を有する導電層と、

前記導電層の前記複数の事前成形された円錐形の傾斜凹部の前記内側面上に設けられるとともに前記内側面に沿う形状の 1 つ又は複数の炭素繊維強化プラスチック ( C F R P ) 複合材層と、

前記導電層内の前記複数の傾斜凹部及び隣接する前記 C F R P 複合材層を通って延びる複数の穴であって、前記導電層内の前記事前成形された円錐形の傾斜凹部の各々が前記複数の穴のうちの開口内に延びる皿部を規定するように形成された穴と、を含み、前記複数の穴は複数の留め具のシャフト部を隙間嵌めで収容する大きさとされ。 30

前記導電層内の前記事前成形された円錐形の傾斜凹部により、前記複数の穴内に取り付けられた導電性皿形留め具のヘッド部と接触する導電表面領域がもたらされ、前記シャフト部及び前記穴の前記隙間嵌めが、前記シャフト部及び前記シャフト部に隣接する複合層の間の隙間嵌めにより生じる高抵抗により、前記導電性皿形留め具の前記ヘッド部から前記導電層への電流移動を促す、多層複合材構造体。

**【請求項 10】**

留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体を形成する方法であって、 40

複数の隆起円錐形状部を有する成形型上に導電層を積層することによって、前記導電層に、皿部を形成する内側面と外側面を備えた複数の事前成形された円錐形の傾斜凹部を形成し、

前記導電層の前記複数の事前成形された円錐形の傾斜凹部の前記内側面に沿う形状の少なくとも 1 つの炭素繊維強化プラスチック ( C F R P ) 複合材層を前記導電層上に積層し、

前記成形型上で前記 C F R P 複合材層と前記導電層を共硬化し、

前記導電層内の前記事前成形された円錐形の傾斜凹部及び隣接する前記 C F R P 複合材層に、複数の穴を機械加工形成することによって、前記導電層内の前記複数の事前成形された円錐形の傾斜凹部が、前記複数の穴の開口内に延びる皿部を規定するとともに、前記 50

導電層の導電面を露出させるようにし、

前記複数の穴内に留め具を挿入し、

前記導電層が、前記導電層内の前記皿部内の前記事前成形された円錐形の傾斜凹部内に延びていることにより、前記複数の穴内に取り付けられた前記留め具の導電性皿形ヘッド部と接触するそれぞれの穴内に延びる円錐形の皿部を規定する導電表面領域を構成している、方法。

**【請求項 1 1】**

前記導電層は、ワイヤメッシュであり、前記ワイヤメッシュと前記少なくとも 1 つの C F R P 複合材層との間に接着層を配置することをさらに含む、請求項 1 0 に記載の方法。

**【請求項 1 2】**

前記ワイヤメッシュが、0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 0 5 インチの間の厚さを有する、請求項 1 1 に記載の方法。

**【請求項 1 3】**

前記複数の穴に前記留め具を挿入する前に、円錐ワッシャを前記傾斜凹部に挿入することをさらに含む、請求項 1 0 に記載の方法。

**【請求項 1 4】**

前記複数の穴を機械加工形成する段階が、留め具の隙間嵌めのための複数の穴を機械加工形成することを含む、請求項 1 0 に記載の方法。

**【請求項 1 5】**

留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体を形成する方法であって、

複数の隆起円錐形状部を有する成形型上にガラス繊維層を積層し、

ワイヤメッシュ導電層を前記ガラス繊維層の上に積層し、前記ワイヤメッシュ導電層内に複数の傾斜凹部を形成し、

前記導電層の上に少なくとも 1 つの炭素繊維強化プラスチック ( C F R P ) 複合材層を積層し、

前記成形型上の前記ガラス繊維層、前記 C F R P 複合材層、及び前記導電層を共硬化し、

前記導電層内の前記複数の傾斜凹部及び隣接する前記 C F R P 複合材層を通る複数の穴であって、前記導電層内の前記傾斜凹部が前記複数の穴の開口内に延びる皿部を規定するように形成された複数の穴を機械加工形成し、前記導電層の導電面を露出させ、

前記複数の穴内に留め具を挿入し、

前記導電層内の前記皿部内の前記傾斜凹部が、前記複数の穴内に取り付けられる前記留め具の導電性皿形ヘッド部と電気的に接触する、方法。

**【請求項 1 6】**

留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体を形成する方法であって、

複数の隆起円錐形状部を有し、98° ~ 102° の間の傾斜角を有する成形型を形成し、

前記成形型の上に導電層を積層し、前記導電層内に複数の傾斜凹部を形成し、

少なくとも 1 つの炭素繊維強化プラスチック ( C F R P ) 複合材層を前記導電層の上に積層し、

前記成形型上で前記 C F R P 複合材層と前記導電層を共硬化し、

前記導電層内の前記複数の傾斜凹部及び隣接する前記 C F R P 複合材層に、複数の穴を機械加工形成することによって、前記導電層内の前記複数の傾斜凹部が、前記複数の穴の開口内に延びる皿部を規定するとともに、前記導電層の導電面を露出させるようにし、

前記複数の穴内に留め具を挿入し、

前記導電層内の前記皿部内の前記傾斜凹部が、前記複数の穴内に取り付けられる前記留め具の導電性皿形ヘッド部と電気的に接触する、方法。

**【請求項 1 7】**

10

20

30

40

50

留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体を形成する方法であって、

成形型の上に導電層を積層し、前記導電層内に複数の傾斜凹部を形成し、

少なくとも1つの炭素繊維強化プラスチック(CFRP)複合材層を前記導電層の上に積層し、

前記成形型上で前記CFRP複合材層と前記導電層を共硬化し、

前記導電層内の前記複数の傾斜凹部及び隣接する前記CFRP複合材層に、複数の穴を機械加工形成することによって、前記導電層内の前記複数の傾斜凹部が、前記複数の穴の開口内に延びる皿部を規定するとともに、前記導電層の導電面を露出させるようにし、

0.001~0.005インチの間の厚さを有する円錐ワッシャを、前記傾斜凹部に挿入し、10

前記複数の穴内に留め具を挿入し、

前記導電層内の前記皿部内の前記傾斜凹部が、前記複数の穴内に取り付けられる前記留め具の導電性皿形ヘッド部と電気的に接触する、方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【技術分野】

##### 【0001】

本開示の実施形態は、概して、非金属構造体の落雷防護の分野に関し、より具体的には、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)複合材系によって製造された航空宇宙構造体の落雷防護に関する。20

##### 【背景技術】

##### 【0002】

落雷防護は、すべての航空機に必要なものであり、特に、複合材構造体を用いた航空機にとって必要である。炭素繊維強化プラスチック(CFRP)材料系は、比強度が高いために、航空宇宙構造体に使用されることが多くなってきている。しかしながら、炭素繊維は、抵抗がアルミニウムの二千倍であり、通常、35~40重量%が非導電性材料からなる母材内に埋設されているため、CFRP構造体への直接の落雷による損傷は、より深刻であり、直接の着雷からCFRP構造体を保護するための努力においては、設計における継続的な耐空性を実現するために相当な注意が必要であった。金属性の外板留め具、特に、複合材/非金属の主翼外板における留め具は、特に注意が必要である。これらは、保護しなければ、より直接の着雷を受けやすく、燃料タンクの発火につながる恐れがあるからである。航空宇宙産業における締結ジョイント部の落雷防護のための一般的な方法には、締結ジョイント部に入る雷電流を最小限にすること、締結ジョイント部の電流伝達能力を高めること、締結ジョイント部から放出されたエネルギーを閉じ込めてこと、又はこれらの方法の何らかの組み合わせがある。様々な方法や技術が実現されており、その落雷防護の効果が実証されている。しかしながら、これらの方法は複雑であるため、部品コスト、製造コスト、又は、メンテナンスコストが高くなることがしばしばあった。30

##### 【0003】

従って、容認可能な落雷防護を低成本で維持する、CFRP構造体の締結ジョイント部のためのより単純な方法および設計を提供することが望ましい。40

##### 【発明の概要】

##### 【0004】

本明細書に開示の実施形態は、留め具と導電層の一体の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体を提供し、当該構造体は、ワイヤメッシュなどの共硬化導電層を有しており、当該導電層は、内側面と、外側面に皿部を形成する複数の傾斜凹部とを有する。1つ又は複数の炭素繊維強化プラスチック(CFRP)複合材層が、共硬化導電層の内側面上に設けられ、その表面形状に沿っている。複数の穴が、共硬化導電層内の複数の傾斜凹部及び隣接するCFRP複合材層を通って延び、共硬化導電層が、複数の穴の開口内に延びる皿状部を規定している。共硬化導電層内の傾斜凹部によって、複数の穴内に取り付けられ50

た導電性の金属皿形留め具と接触する導電表面領域が大きく確保されている。

**【0005】**

一実施形態の特徴は、皿部を有する穴、及び、皿部に挿入された円錐ワッシャを有する、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）複合材構造体を含む。穴に隙間嵌めによって挿入された留め具は、円錐ワッシャと導電的に係合する円錐形のヘッド部を有しており、これによって、留め具のヘッド部に印加又は伝導される雷電流が、主として、留め具のヘッド部の隣接部分から延びる複合材構造体の外側部分の複合材層を通る放電経路に沿って消散される。

**【0006】**

開示の実施形態の構造は、留め具と導電層の一体の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体を形成する方法によって、製造することができる。複数の隆起円錐形状部を有する成形型の上に、ガラス繊維強化予備含浸層又は表面フィルムを積層する。次に、ガラス繊維又は表面フィルム層の上に導電性表面保護層を積層し、共硬化導電層内に複数の傾斜凹部を形成する。次に、ガラス繊維又は表面フィルム層及び導電層の上に、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）複合材層を積層する。次に、レイアップ全体を、成形型上で共硬化する。硬化及びレイアップ成形型からの取り外しの後、導電層内の複数の凹部及び隣接する複合材層に、複数の穴を機械加工形成することによって、傾斜凹部が、導電層の表面を露出させ、仕上げ後の皿部の寸法を規定する。次に、複数の穴に留め具を挿入することによって、導電層を有する皿部内の傾斜凹部が、複数の穴に取り付けられた金属留め具の皿形ヘッド部と電気的に接続される。

10

**【0007】**

上述した特徴、機能、利点は、本願の開示の様々な実施形態によって個別に達成することができ、あるいは、さらに他の実施形態と組み合わせてもよく、そのさらなる詳細は、以下の記載及び図面を参照することによってより明らかになるものである。

**【図面の簡単な説明】**

**【0008】**

【図1】留め具のヘッド部及びシャフト部に縫り嵌めのスリープを用いた従来の留め具システムの断面図である。

【図2】複合材レイアップの上部と接触する円錐ワッシャを組み込んでおり、レイアップには留め具のシャフト部との間に隙間を有する穴が形成されている、第1の実施形態の断面図である。

30

【図3A - 3D】図3Aは、導電性表面保護層の一例としての埋設ワイヤメッシュを備えた、一実施形態による複合材構造パネルの例示的な複合材レイアップの作業工程を示す断面図であり、図3Bは、積層用成形型から取り外された状態にある複合材レイアップを示す図3Aと同様の断面図であり、図3Cは、穿孔作業を終了した状態にある複合材レイアップを示す図3Bと同様の断面図であり、図3Dは、円錐ワッシャを設けた後の状態にある穿孔後の複合材レイアップを示す図3Cと同様の断面図である。

【図3E】留め具を挿入した状態の完成済み複合材構造パネルの部分図である。

【図4】複合材構造体の層における最上層の導電率に対する電流密度を示すグラフである。

40

【図5】複合材構造パネルの製造方法を示すフローチャートである。

【図6】開示の実施形態を用いることができる航空機の製造及び保守方法のフローチャートである。

【図7】開示の実施形態を用いることができる航空機を示すフローチャートである。

**【発明を実施するための形態】**

**【0009】**

本明細書に開示の実施形態は、第1の実施形態において、円錐ワッシャと、複合材構造体における外側層と、複合材構造体を通じて延びる留め具の円錐形ヘッド部との電気的接觸による、雷や他の形態の電流の消散をもたらす。留め具のシャフト部は、複合材構造体内の隙間嵌め穴に挿入される。さらなる実施形態において、複合材構造体内に共硬化され

50

た導電層と、複合材構造体内の留め具との直接の電気的接続によって、電流の消散が増進される。共硬化された導電層は、留め具用穴の内側に延びており、留め具のヘッド部又は円錐ワッシャと接触する。円錐ワッシャは、皿穴内に装着された留め具のヘッド部との間に介在するものである。複合材構造体は、構造上の設計に従って、隆起部を有する特殊な設計の積層用成形型の上に、まず、保護外層としてのガラス繊維又は表面フィルム、ワイヤメッシュなどの導電層、及び、接着層を積層し（接着層は、レイアップの前に導電層と一体化させるか導電層に付着させてもよい）、次に、CFRPテープ層を積層することによって、形成される。これらの隆起部は、後に取り付ける外板留め具用の皿部（通常は角度100°）を有する穴の一部を形成するように、設計されている。硬化の後、積層外板を積層用成形型から取り外し、次に、隆起部の位置に穿孔し、適宜仕上げ処理を行うことによって、留め具取り付け用の皿穴が形成される。隆起部の位置に皿穴を形成する作業では、形成されていた凹部の傾斜面からガラス繊維又は表面フィルム外層のみが除去される。また、ジョイント部の電流容量をさらに増やすため、所望の種類の金属からなり、（以下に述べるように設計によって求められる）密度及び厚みを有する円錐ワッシャを、皿穴に加え、導電層を備えた皿穴の一部及び留め具のヘッド部の両方と、電気的に接触させてよい。このような方法によれば、留め具を、共硬化された導電層または追加された円錐ワッシャのいずれかと直接電気的に接触させることができ、ワッシャは、雷電流の伝達が起こりうる皿穴の傾斜面にある共硬化された導電層と接触してジョイント部の電流容量を増やすものである。これによれば、スリーブを用いた締り嵌めによるジョイント部を介して電流を伝達する必要が無くなる。これによれば、高価なスリーブ嵌入留め具に代えて隙間嵌め留め具を使用することができ、飛行機の製造費用を低減することができる。また、隙間嵌め締結ジョイントによれば、留め具の取り付けが大幅に容易になり、組み立てに要する労力及び作業時間が低減される。

#### 【0010】

図面を参照すると、図1は、例示的な従来の留め具の取り付け状態を示している。この取り付けにおいて、留め具10は、CFRP外板などの多層複合材構造体16の皿穴14に挿入されたスリーブ12によって、締り嵌め状態で挿入されている。（要素を明確に示すために、図面では、嵌合部分の間隙を誇張している。）留め具ヘッド部18及び留め具シャフト部20は、いずれも、スリーブ12と電気的に接触しており、スリーブは、複合材構造体16と電気的に接触している。矢印22で示すように、留め具ヘッド部18に印加又は伝導される雷電流は、留め具のヘッド部及びシャフト部の全長にわたって、複合材構造体内に消散される。この例において、留め具10は、ねじ付き端部26に嵌め込まれたナット／カラー24で固定されて、複合材構造体を別の構造部材25に固定している。この放電経路によれば、この例の外板レイアップのような複合材構造体の層に均一に電流が分散されるとともに、留め具のカラー／ナット部分で電流密度が高くなり、燃料タンクの高いシール性が求められる。

#### 【0011】

開示の第1の実施形態を、図2に示す。当該実施例においては、ヘッド部32及びシャフト部34を有する留め具30が、主翼外板などのCFRP複合材構造体の皿穴36に挿入されている。シャフト部34と穴36の間は、隙間嵌めとなっている。穴36の傾斜皿部40によって、留め具のヘッド部32と同心の角度を有する係合面が規定されている。円錐ワッシャ42が、ヘッド部32と皿部40の間に係合して、ヘッド部と、複合材構造体38における外側部分44との電気的接触をもたらしている。この密接した電気的接触によって、留め具30のヘッド部32を伝わるあらゆる電流が、主として、留め具のヘッド部の隣接部分から延びる複合材構造体の外側部分44の複合材層を通る放電経路（矢印46で示す）に沿って消散する。シャフト部34と穴36が隙間嵌めとなっているため、シャフト部と複合材構造体との導電接触性が低く、これにより上記放電経路による消散が促進される。例示的な実施形態において、留め具30は、ねじ付き端部50に嵌め込まれたナット／カラー48、又は、別個のワッシャ付きナットで固定されて、複合材構造体38を別の構造部材49に固定している。上記誘導的電流経路によって、留め具のカラー又

10

20

30

40

50

はナット部における電流密度はごくわずかとなり、これによって、締結ジョイント部からの放出エネルギーを閉じ込める手段として燃料タンクに求められるシール性が低くなる。

#### 【0012】

例示的な実施形態において、円錐ワッシャ42、穴36の皿部、及び、ヘッド部32は、98°と102°の間、公称上は100°の角度を有し、円錐ワッシャは、0.001インチと0.005インチの間の厚みを有する。複合材構造体内のCFRP複合材層においては、チタン留め具を採用し、円錐ワッシャを被覆しない耐食鋼（corrosion resistant steel : CRES）とすることにより、所望の導電性がもたらされる。

#### 【0013】

開示の第2の実施形態に関し、図3A～図3Eは、航空機内の燃料タンクと一体の例示的な主翼外板の所望の構造を示している。留め具・導電性層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体52は、図3Aに示すような積層用成形型54を用いて形成され、当該成形型は、所望の留め具位置に設けられた、複数の隆起円錐形状部又は突起56を有するものである。ガラス繊維又は表面フィルム層58を、成形型上に載置し、ガラス繊維又は表面層を円錐形状部の各々に沿う形状とした状態で、レイアップが開始される。ワイヤメッシュ60などの導電層が、その外側面59がガラス繊維又は表面フィルム層に隣接する状態で、ガラス繊維又は表面フィルム層58上にレイアップされる。例示的な実施形態では、ワイヤメッシュ層は、0.001インチから0.005インチの範囲の厚みを有する、銅、ニッケル、アルミニウムなどのエキスバンドメタル箔である。接着層62を、ワイヤメッシュ層60上に載置又は付着させ、航空機主翼外板などの複合材構造体用のCFRPテープ層64を、接着層によって被覆されたワイヤメッシュ層60の内側面61を覆うようにレイアップする。例示的な実施形態において、接着層は、エポキシ系であり、0.0200±0.0050ポンド/平方フィートの膜面積あたり重量を有する。代替の実施形態において、接着層62は、複合材構造体の他の要素に対するレイアップの前に、ワイヤメッシュ層60に付着させてよい。次に、積層用成形型54上で、レイアップの硬化が行われる。

#### 【0014】

図3Bに示すように、硬化済みレイアップ66が、積層用成形型54から取り外される。レイアップは、所望の各位置に、留め具用の所望の皿部に対応する、事前成形された円錐形の傾斜凹部68を有している。次に、図3Cに示すように、留め具が挿入される複数の穴70を、穿孔、仕上げ、又は他の機械加工によって、凹部68に形成する。次に、図3Dに示すように、傾斜凹部68内のガラス繊維を除去し、各傾斜凹部において、各穴70の開口内に延びる円錐形の皿部74として、導電面72を露出させる。凹部内に導電層が延びていることによって、皿部内に導電表面領域が形成される。図示の実施形態において、傾斜凹部を設けたことによって、導電層が、留め具のヘッド部の全長さに亘って平行に接触する一方で、穴と穴の間の、複合材構造体の表面より上方に位置するワイヤメッシュ導電層の全厚は、重量を考慮して、薄く保たれている。このようにして、皿部を形成する複数の傾斜凹部を外側面に有する導電層と、導電層の内側面に沿う形状の1つ又は複数の炭素繊維強化プラスチック（CFRP）複合材層と、導電層内の傾斜凹部及び隣接するCFRP複合材層を通って延びる穴であって、導電層が穴の開口内に延びる皿状部を規定するように構成された穴と、を含む、留め具・導電層一体型の相互接続を有する多層複合材構造体が提供される。この構成によれば、導電層内の傾斜凹部によって、複数の穴に取り付けられる導電性の皿形留め具との電気的接触を可能にする導電表面領域がもたらされる。この後、皿部74内に円錐ワッシャ76を挿入してもよい。

#### 【0015】

図3Eに示すように、留め具78が取り付けられた完成複合材構造体52によれば、留め具の円錐形のヘッド部80と、円錐形の皿部74内に密着挿入されて導電面72と直接接続された円錐ワッシャ76との間に、導通接続がもたらされる。代替の実施形態において、円錐ワッシャ76を省いて、留め具78の円錐形のヘッド部80を、円錐形の皿部74内の導電面72に直接接觸させて配置してもよい。留め具78のシャフト部82は、隙

10

20

30

40

50

間嵌めによって、穴 7 0 に挿入されている。図示の実施形態において、留め具 7 8 は、シャフト部 8 2 のねじ付き端部 8 6 に嵌め込まれたナット / カラー 8 4 で固定されて、複合材構造体 5 2 を別の構造部材 8 5 に固定している。シャフト部 8 2 と穴 7 0 が隙間嵌めとなっているため、シャフト部と複合材構造体の間の抵抗が大きく、これにより留め具のヘッド部における電流の伝達が促進される。留め具のヘッド部近傍の導電層を通る誘導電流経路によって、留め具のカラー又はナット部分における電流密度はごくわずかとなり、これによって、燃料タンクに求められるシール性が低くなる。

#### 【 0 0 1 6 】

図 4 のグラフに見られるように、0°、45°、90°、及び、-45° の C F R P 複合材層を隣接させて設けた複合材構造体において、曲線 4 0 2 に示すように、露出された留め具ヘッド部を有する複合材構造体の最上層又は外側層の導電率を上げると、曲線 4 0 4、4 0 6、4 0 8、及び 4 1 0 によって示すように、内側の複合材層の電流密度は有意に低下する。開示の実施形態において、ワイヤメッシュ層 6 0 は、少なくとも  $10^5 S / m$  の導電率をもたらす。留め具の円錐形のヘッド部との直接の密着した導電接触、あるいは、各穴を取り囲むワイヤメッシュ層に設けられた皿部の傾斜面内の円錐ワッシャを介する密着した導電接触によって、留め具のヘッド部に印加されるあらゆる放電が、主として、複合材構造体のワイヤメッシュ層内に消散し、外側層において誘電電流密度が維持されて当該外側層における導電率が高くなる現象がさらに促進される。

#### 【 0 0 1 7 】

留め具と導電層の一体の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体の製造は、図 5 に示した方法によって実現することができる。工程 5 0 2 において、複数の隆起円錐形状部を有する成形型を形成し、工程 5 0 4 において、この成形型を洗浄する。工程 5 0 6 において、ガラス纖維又は表面フィルムの外側保護層を、成形型上に積層する。工程 5 0 8 において、例示的な実施形態ではワイヤメッシュである導電層を、成形型上に積層し、複数の隆起円錐形状部によって、ワイヤメッシュ導電層に複数の傾斜凹部を形成する。工程 5 1 0 において、接着層を、ワイヤメッシュ導電層上に積層するか、あるいは、レイアップの前に導電層に付着させておく。工程 5 1 2 において、炭素纖維強化プラスチック (C F R P) 複合材層を、導電層と、導電層及び成形型の形状に沿う接着層とを一体化させた層の上に積層する。次に、ステップ 5 1 4 において、レイアップをバギング (bagged) する。工程 5 1 6 において、C F R P 及び導電層を、成形型上で、レイアップの一部として共硬化することによって、主翼外板などの所望の部品を形成する。次に、工程 5 1 8 において、成形型から当該部品を取り外し、工程 5 2 0 において、エッジをトリミングし、工程 5 2 2 において部品を検査する。工程 5 2 4 において、導電層の複数の凹部及び隣接する複合材層に、複数の穴を機械加工形成することによって、導電層内の傾斜凹部が、複数の穴の開口内に延びる皿部を規定する状態となる。このようにして、留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体を形成する方法が提供される。当該方法では、複数の隆起円錐形状部を有する成形型の上に導電層を積層することによって、導電層に複数の傾斜凹部を形成し、導電層の形状に沿うように少なくとも 1 つの複合材層を積層し、型の上でこれらの層を共硬化し、導電層内の傾斜凹部及び隣接する複合材層に、穴を機械加工形成することによって、導電層内の傾斜凹部が、穴内に延びる皿部を規定して導電層の導電面を露出させる。当該方法は、複数の穴内に留め具を挿入する工程をさらに含み、導電層内の皿部内の傾斜凹部は、複数の穴に取り付けられた留め具の導電性皿形ヘッド部と電気的に接触する。穴は、隙間嵌めによって留め具を収容する大きさとされる。工程 5 2 6 において、皿部領域を機械加工又は仕上げ加工することにより、傾斜凹部からガラス纖維又は他の外側保護層を取り除く。代替の実施形態において、レーザーアブレーション (laser ablation) 又はプラズマエッチングなどの他の方法を用いて、傾斜凹部の表面から外側保護層を除去してもよい。工程 5 3 0 において、複数の穴に留め具を挿入する。この際、留め具の円錐形のヘッド部が導電層内の皿部内の傾斜凹部に係合することにより、電気接触表面積が大きく確保される。穴に留め具を挿入する前に、工程 5 2 8 において、各穴の傾斜凹部内に円錐ワッシャを挿入してもよい。

10

20

30

40

50

## 【0018】

本開示の実施形態は、図6に示す航空機の製造及び保守方法600、及び、図7に示す航空機700に当てはめて説明することができる。生産開始前において、例示的な方法600は、航空機700の仕様決定及び設計604、及び、材料調達606を含む。生産中には、航空機700の部品及び小組立品の製造608、ならびに、システムインテグレーション610が行われる。その後、航空機700は、認可及び納品612を経て、使用614に入る。顧客による使用の間は、航空機700は、定例の整備及び保守616のスケジュールに組み込まれる。（これは、改良、再構成、改修、及び他の整備又は保守を含みうる。）

## 【0019】

方法600の各工程は、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）によって実行又は実施することができる。説明のために言及すると、システムインテグレーターは、航空機メーカー及び主要システム下請業者をいくつ含んでいてもよいが、これに限定されない。第三者は、売主、下請業者、供給業者をいくつ含んでいてもよいが、これに限定されない。オペレーターは、航空会社、リース会社、軍事団体、サービス組織等であってもよい。

## 【0020】

図7に示すように、例示的な方法600によって生産された航空機700は、複数のシステム720及び内装722を備えた機体718を含みうる。ハイレベルシステム720の例としては、駆動系724、電気系726、油圧系728、環境系730、及び、着脱可能セグメント化武器ディスペンサー732のうちの1つ又は複数が挙げられる。また、任意の数の他のシステムを含んでいてもよい。また、航空宇宙産業に用いた場合を例として示しているが、本開示の実施形態を、他の産業に適用してもよい。

## 【0021】

本明細書において具現化される装置及び方法は、製造及び保守方法600における任意の1つ又は複数の段階において、採用することができる。例えば、製造工程608において製造される部品及び小組立品は、航空機700の使用中に製造される部品及び小組立品と同様に製造されてもよい。また、1つ又は複数の装置の実施形態、方法の実施形態、又はそれらの組み合わせを、例えば、製造工程608及び610中に用いることによって、実質的に航空機700の組み立て速度を速めたりコストを削減したりすることができる。同様に、装置の実施形態、方法の実施形態、又はそれらの組み合わせの1つ又は複数を、航空機700の使用中に、例えば、整備及び保守616に用いてもよいが、これに限定されない。

## 【0022】

また、本開示は、以下の付記による実施形態を含む。

## 【0023】

付記1. 留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体であつて、

内側面を有するとともに、外側面に皿部を形成する複数の傾斜凹部を有する導電層と、前記導電層の前記内側面上に設けられるとともに前記内側面に沿う形状の1つ又は複数の炭素繊維強化プラスチック（CFRP）複合材層と、

前記導電層内の前記複数の傾斜凹部及び隣接する前記CFRP複合材層を通って延びる複数の穴であつて、前記導電層が前記複数の穴の開口内に延びる皿状部を規定するように形成された穴と、を含み、

前記導電層内の前記傾斜凹部は、前記複数の穴内に取り付けられた導電性皿形留め具と接触する導電表面領域を構成している、複合材構造体。

## 【0024】

付記2. 前記導電層の前記外側面上に共硬化されたガラス繊維又は表面フィルム層をさらに含む、付記1に記載の留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体。

## 【0025】

付記3. 前記導電層と前記C F R P複合材層の間に設けられた、前記導電層と一体化された接着層をさらに含み、前記導電層、前記接着層及び前記C F R P複合材層は、成形型上で共硬化されている、付記1に記載の留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体。

## 【0026】

付記4. 前記傾斜凹部内に挿入された複数の円錐ワッシャをさらに含む、付記1に記載の留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体。

## 【0027】

付記5. 各留め具の円錐形のヘッド部が各円錐ワッシャと導電的に係合している、付記4に記載の留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体。 10

## 【0028】

付記6. 前記複数の穴は、前記複数の留め具が隙間嵌めて挿入されるサイズとされている、付記1に記載の留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体。

## 【0029】

付記7. 前記導電層は、ワイヤメッシュである、付記1に記載の留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体。

## 【0030】

付記8. 前記ワイヤメッシュは、銅、ニッケル、又はアルミニウムの組から選択されたエキスパンドメタル箔である、付記7に記載の留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体。 20

## 【0031】

付記9. エキスパンドメタル箔は、0.001~0.005インチの厚みを有する、付記8に記載の留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体。

## 【0032】

付記10. 皿部を含む穴を有する炭素繊維強化プラスチック(C F R P)複合材構造体と、

前記皿部に挿入された円錐ワッシャと、

前記穴に隙間嵌めによって挿入された留め具と、を含み、前記留め具の円錐形ヘッド部が前記円錐ワッシャと導電的に係合することにより、前記留め具の前記ヘッド部に印加された放電が、主として、留め具のヘッド部の隣接部分から延びる複合材構造体の外側部分の複合材層を通る放電経路に沿って消散される、留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続。 30

## 【0033】

付記11. 前記留め具のヘッド部はチタンであり、前記円錐ワッシャは、耐食鋼(C R E S)である、付記10に記載の留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続。

## 【0034】

付記12. 前記円錐ワッシャは、0.001~0.005インチの厚みを有する、付記11に記載の留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続。 40

## 【0035】

付記13. 留め具・導電層一体型の落雷防護相互接続を有する多層複合材構造体を形成する方法であって、

複数の隆起円錐形状部を有する成形型上に導電層を積層することによって、前記導電層に複数の傾斜凹部を形成し、

少なくとも1つの炭素繊維強化プラスチック(C F R P)複合材層を前記導電層上に積層し、

前記成形型上で前記C F R P複合材層と前記導電層を共硬化し、

前記導電層内の前記複数の傾斜凹部及び隣接する前記C F R P複合材層に、複数の穴を機械加工形成することによって、前記導電層内の前記複数の傾斜凹部が、前記複数の穴の 50

開口内に延びる皿部を規定するとともに、前記導電層の導電面を露出させるようにし、  
前記複数の穴内に留め具を挿入し、

前記導電層内の前記皿部内の前記傾斜凹部は、前記複数の穴に取り付けられた前記留め  
具の導電性皿形ヘッド部と電気的に接触する、方法。

【0036】

付記14. さらに、前記導電層を積層する前に、前記成形型上にガラス繊維層を積層  
する、付記13に記載の方法。

【0037】

付記15. 前記導電層は、ワイヤメッシュであり、前記ワイヤメッシュと前記少なくとも1つのC F R P複合材層との間に接着層を配置することをさらに含む、付記13に記載の方法。 10

【0038】

付記16. さらに、前記複数の穴に前記留め具を挿入する前に、前記傾斜凹部に円錐ワッシャを挿入する、付記13に記載の方法。

【0039】

付記17. 複数の穴を機械加工形成するに際し、留め具を隙間嵌めできるように複数の穴を機械加工形成する、付記13に記載の方法。

【0040】

付記18. さらに、98°と102°の間の傾斜角度を有する複数の隆起円錐形状部を有する成形型を形成する、付記13に記載の方法。 20

【0041】

付記19. 前記ワイヤメッシュは、0.001インチと0.005インチの間の厚みを有する、付記15に記載の方法。

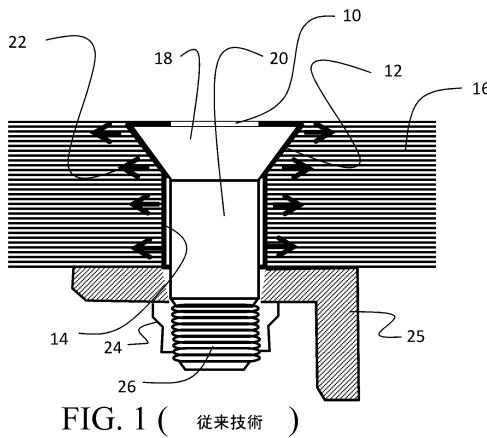
【0042】

付記20. 前記円錐ワッシャは、0.001インチと0.005インチの間の厚みを有する、付記16に記載の方法。

【0043】

本開示の様々な実施形態を、特許法で求められる要件に従い詳細に説明したが、当業者であれば、本明細書に開示した特定の実施形態に対する改変及び代替例を認識するであろう。そのような改変は、以下の特許請求の範囲に規定される本開示の範囲及び意図に含まれるものである。 30

【図1】



【図2】

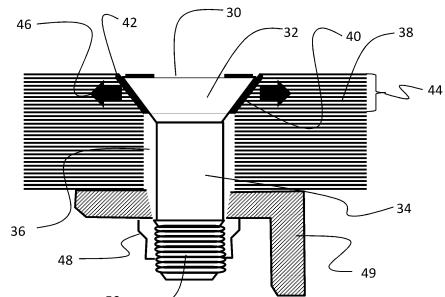


FIG. 2

【図3A - 3D】

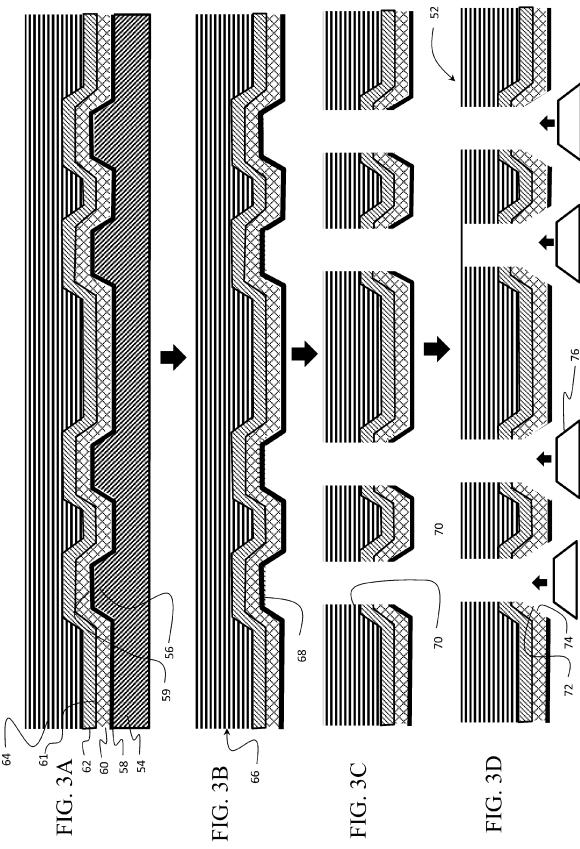


FIG. 3C

FIG. 3D

【図3E】

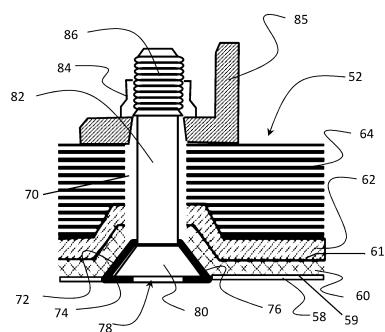


FIG. 3E

【図4】

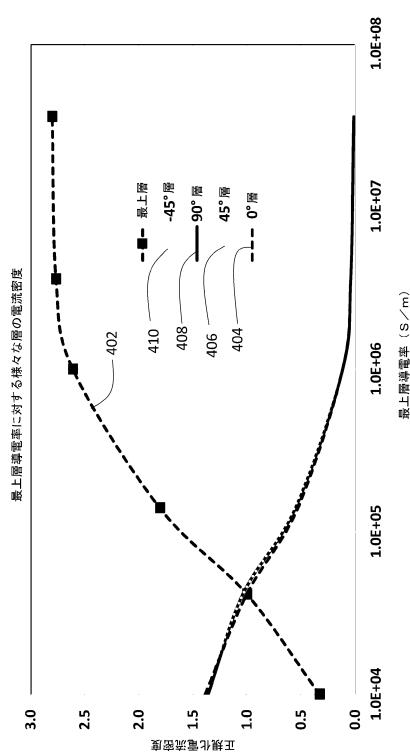
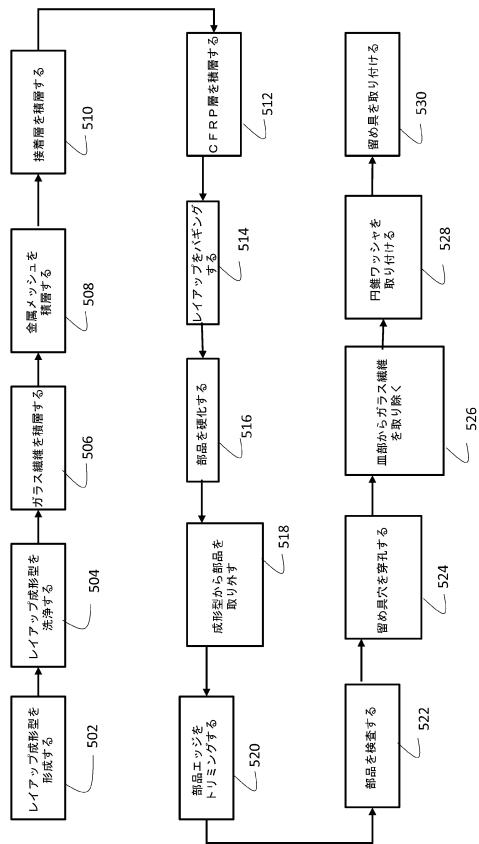


FIG. 4

【図5】



【図6】

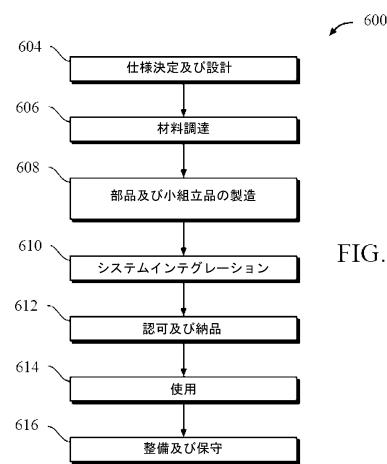


FIG. 6

FIG. 5

【図7】

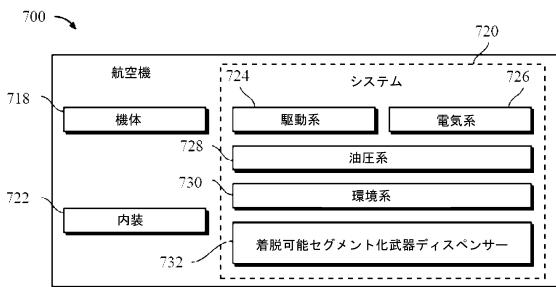


FIG. 7

---

フロントページの続き

(74)代理人 100161274  
弁理士 土居 史明

(74)代理人 100168044  
弁理士 小淵 景太

(74)代理人 100168099  
弁理士 鈴木 伸太郎

(72)発明者 クインジアオ ル  
アメリカ合衆国、イリノイ州 60606、シカゴ、ノース リバーサイド プラザ 100、ザ  
・ボーリング・カンパニー内

(72)発明者 ジェフリー デニス モーガン  
アメリカ合衆国、イリノイ州 60606、シカゴ、ノース リバーサイド プラザ 100、ザ  
・ボーリング・カンパニー内

(72)発明者 ロバート ビー・グレゴール  
アメリカ合衆国、イリノイ州 60606、シカゴ、ノース リバーサイド プラザ 100、ザ  
・ボーリング・カンパニー内

(72)発明者 ブレント エー・ホワイティング  
アメリカ合衆国、イリノイ州 60606、シカゴ、ノース リバーサイド プラザ 100、ザ  
・ボーリング・カンパニー内

審査官 志水 裕司

(56)参考文献 米国特許出願公開第2011/0174536(US, A1)  
特表2011-524265(JP, A)  
米国特許第03755713(US, A)  
特表2009-506952(JP, A)  
特開2009-083640(JP, A)  
米国特許出願公開第2011/0278837(US, A1)  
特表2012-524382(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 6 4 D	4 5 / 0 2
B 3 2 B	5 / 0 0
B 3 2 B	5 / 2 8
B 3 2 B	7 / 0 2 5
B 6 4 C	1 / 0 0