

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6025840号  
(P6025840)

(45) 発行日 平成28年11月16日(2016.11.16)

(24) 登録日 平成28年10月21日(2016.10.21)

|                          |                 |
|--------------------------|-----------------|
| (51) Int.Cl.             | F I             |
| B 2 9 C 70/06 (2006.01)  | B 2 9 C 67/14 Z |
| B 6 4 C 1/00 (2006.01)   | B 6 4 C 1/00 B  |
| B 6 4 C 1/06 (2006.01)   | B 6 4 C 1/06    |
| B 6 4 F 5/00 (2006.01)   | B 6 4 F 5/00 B  |
| B 2 9 K 105/08 (2006.01) | B 2 9 C 67/14 G |

請求項の数 7 (全 16 頁) 最終頁に続く

|               |                               |           |                              |
|---------------|-------------------------------|-----------|------------------------------|
| (21) 出願番号     | 特願2014-520286 (P2014-520286)  | (73) 特許権者 | 500520743                    |
| (86) (22) 出願日 | 平成24年7月11日(2012.7.11)         |           | ザ・ボーイング・カンパニー                |
| (65) 公表番号     | 特表2014-525852 (P2014-525852A) |           | The Boeing Company           |
| (43) 公表日      | 平成26年10月2日(2014.10.2)         |           | アメリカ合衆国、60606-2016           |
| (86) 国際出願番号   | PCT/US2012/046303             |           | 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   | W02013/009909                 | (74) 代理人  | 100109726                    |
| (87) 国際公開日    | 平成25年1月17日(2013.1.17)         |           | 弁理士 園田 吉隆                    |
| 審査請求日         | 平成27年6月30日(2015.6.30)         | (74) 代理人  | 100101199                    |
| (31) 優先権主張番号  | 61/507, 115                   |           | 弁理士 小林 義敦                    |
| (32) 優先日      | 平成23年7月12日(2011.7.12)         | (72) 発明者  | ミラー, ジェフリー エル.               |
| (33) 優先権主張国   | 米国 (US)                       |           | アメリカ合衆国 ワシントン 98275          |
| (31) 優先権主張番号  | 13/267, 876                   |           | , ムキルテオ, ペイヴュー ドライブ          |
| (32) 優先日      | 平成23年10月6日(2011.10.6)         |           | 6023                         |
| (33) 優先権主張国   | 米国 (US)                       |           |                              |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 複合材部品を製造するクリーンセクション及びダーティセクションを含むセル

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複合材部品を製造するための製造セル(110)を使用する方法であって、前記製造セル(110)が、強化繊維をマンドレル治具に積層することを含むクリーン作業を実施するための、クリーンセクション(130)であって、未硬化複合材料を処理するクリーンルームの要求性能を満たす、前記クリーンセクション(130)と、積層体を硬化後に加工することを含むダーティ作業を実施するための、隣接ダーティセクション(120)と、前記クリーンセクション(130)と前記ダーティセクション(120)との間を移動することができる共通エンドエフェクタ位置決めシステム(140)と、前記ダーティセクション(120)内の汚染物質が前記クリーンセクション(130)に侵入するのを防止する手段(180)とを備え、該方法は：

マンドレル治具を前記ダーティセクション(120)内で製造するために、前記エンドエフェクタ位置決めシステム(140)を用いることと、

前記マンドレル治具及び前記エンドエフェクタ位置決めシステム(140)を前記クリーンセクション(130)内に移動させることと、

強化繊維を前記マンドレル治具に堆積するために、前記エンドエフェクタ位置決めシステム(140)を用いることと、

前記マンドレル治具を硬化セクション(190)に移動させ、硬化処理を実施することと、

前記マンドレル治具及び前記エンドエフェクタ位置決めシステム(140)を前記ダー

ティセクション（１２０）に戻るよう移動させることと、  
硬化後の前記部品を前記マンドレル治具の上で加工することと  
を備える方法。

【請求項２】

前記エンドエフェクタ位置決めシステムを、前記クリーンセクションに移動させる前に  
クリーニングすることを更に備える、請求項１に記載の方法。

【請求項３】

複合材積層作業を実施する交換可能なエンドエフェクタ群を含むクリーンセクション（  
１３０）であって、未硬化複合材料を処理するクリーンルームの要求性能を満たす、前記  
クリーンセクション（１３０）と、

前記クリーンセクション（１３０）に隣接するダーティセクション（１２０）であって  
、該ダーティセクション（１２０）が、加工作業を実施する交換可能なエンドエフェクタ  
群を含む、前記ダーティセクション（１２０）と、

前記クリーンセクション（１３０）と前記ダーティセクション（１２０）との間を移動  
することができることにより、前記エンドエフェクタ群を選択し、そして使用して、前記  
積層作業を前記クリーンセクション（１３０）内で実施し、そして前記加工作業を前記ダ  
ーティセクション（１２０）内で実施するエンドエフェクタ位置決めシステム（１４０）  
と  
を備える、製造セル（１１０）。

【請求項４】

前記ダーティセクション（１２０）内の汚染物質が前記クリーンセクション（１３０）  
に侵入するのを防止する手段（１８０）を更に備える、請求項３に記載の製造セル。

【請求項５】

前記エンドエフェクタ位置決めシステム（１４０）を前記クリーンセクション（１３０）  
と前記ダーティセクション（１２０）との間で移動させる手段（１６０）を更に備える  
、請求項３又は４に記載の製造セル。

【請求項６】

温度、湿度、及びパーティクル数を前記クリーンセクション（１３０）内で維持して複  
合材料プロセスの要求性能を満たす手段（１３２）を更に備える、請求項３乃至５のい  
ずれか一項に記載の製造セル。

【請求項７】

前記エンドエフェクタ位置決めシステム（１４０）及び選択エンドエフェクタ群を、前  
記クリーンセクション（１３０）及び前記ダーティセクション（１２０）の両方のセクシ  
ョン内で制御するための、共通コントローラ（１４４）を更に備える、請求項３乃至６の  
いずれか一項に記載の製造セル。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【０００１】

民間航空機は、鳥の衝突、地上ハンドリング施設、破片、ひょう、及び他の予定外の事  
象によって損傷する可能性がある。これらの事象から孔及び裂け目が、航空機外板に発生  
してしまい、そして下層の下部補強構造（例えば、フレーム、スティフナー、及びパッド  
アップ）を損傷してしまう。例えば、航空機の機首操縦室セクションは、鳥の衝突によ  
って損傷する可能性があり、下方突出部は、前脚が損傷することによって損傷する可  
能性があり、中間セクションのドア周りは、地上ハンドリング施設との衝突によって損傷する  
可能性があり、後端部セクションの下方突出部は、尾部をぶつけることによって損傷する  
可能性があるなどである。

【０００２】

損傷した航空機を修理し、そして当該航空機を運航できる状態に、出来る限り速やかに  
戻すことが重要である。待機中の航空機は、収入の喪失につながるもので、運行停止時間は  
航空会社にとって非常に大きな費用を負担することになる。

## 【0003】

パネル化されているアルミニウム製の航空機の修理は、比較的簡単である。損傷したパネル、及び当該パネルの下層の下部構造は、航空機から取り外されて、交換される。パネルが入手可能である場合、修理は極めて速やかに実施することができる。

## 【0004】

複合材料製の民間航空機の修理は、特に一体構造の構成部材の大面积の修理を行なう場合には、さほど簡単ではない。幾つかの一体構造の複合材バレルセクションで構成される胴体について考察する。各バレルセクションは、外板、フープフレーム、及びスティフナー（例えば、ストリング）を含む。これらのスティフナーは、外板と（組み付け中に同時硬化させることにより）一体に形成することができる。フープフレームは、外板に機械的にファスナー結合することができる。胴体セクションの大面积部分が損傷する場合、バレルセクション全体を取り外して交換する作業は、途方もない費用が掛かり、生産に悪影響を及ぼし、そして多大な時間を消費することになる。

10

## 【0005】

複合材製航空機の一体構造の構成部材の大面积の修理を行なうためのインフラストラクチャが必要になる。

## 【発明の概要】

## 【0006】

本明細書における1つの実施形態によれば、マトリックスに埋め込まれた強化繊維を有する部品を製造するセルは、前記強化繊維をマンドレル治具に積層することを含むクリーン作業を実施するための、クリーンセクションを含む。前記クリーンセクションは、未硬化複合材料を処理するクリーンルームの要求性能を満たす。前記セルは更に、前記積層体を硬化後に加工することを含むダーティ作業を実施するための、隣接ダーティセクションと；前記クリーンセクションと前記ダーティセクションとの間を移動することができる共通エンドエフェクタ位置決めシステムと；そして前記ダーティセクション内の汚染物質が前記クリーンセクションに侵入するのを防止する手段と、を含む。

20

## 【0007】

本明細書における別の実施形態によれば、強化繊維をマンドレル治具に積層するために専用に使われるクリーンセクションと、前記積層体を硬化後に加工するために専用に使われる隣接ダーティセクションと、そして前記クリーンセクションと前記ダーティセクションとの間を移動することができる共通エンドエフェクタ位置決めシステムと、を含む。

30

## 【0008】

本明細書における別の実施形態によれば、製造セルは、複合材積層作業を実施する交換可能なエンドエフェクタ群を含むクリーンセクションを含む。前記クリーンセクションは、未硬化複合材料を処理するクリーンルームの要求性能を満たす。前記製造セルは更に、前記クリーンセクションに隣接するダーティセクションであって、該ダーティセクションが、加工作業を実施する交換可能なエンドエフェクタ群を含む、前記ダーティセクションと；そして前記クリーンセクションと前記ダーティセクションとの間を移動することができることにより、前記エンドエフェクタ群を選択し、そして使用して、前記積層作業を前記クリーンセクション内で実施し、そして前記加工作業を前記ダーティセクション内で実施するエンドエフェクタ位置決めシステムと、を含む。

40

## 【図面の簡単な説明】

## 【0009】

【図1】図1は、隣接するクリーンセクション及びダーティセクションを有する製造セルの図である。

【図2】図2は、製造セルを用いて、積層用マンドレル治具及び複合材部品を製造する方法の図である。

【図3】図3は、複合材製胴体を含む航空機の図である。

【図4】図4は、胴体の複合材バレルセクションの外板、及び下層の補強下部構造の図で

50

ある。

【図5】図5は、一体構造胴体バレルの損傷部位の図である。

【図6】図6は、外板パネルにボルト接合スプライスを介して取り付けられる代替えパネルの図である。

【図7】図7は、代替え複合材パネルの設計及び製造を含む、航空機の損傷している一体構造複合材構成部品を修理する方法の図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

図1を参照するに、図1は、マトリックスに埋め込まれる強化繊維層または強化繊維プライを含む複合材部品を製造する製造セル110を示している。複合材の一例が、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）であり、この場合、構成素材は、エポキシマトリックスに埋め込まれる炭素繊維を含むことができる。

10

【0011】

製造セル110は、ダーティセクション120及びクリーンセクション130を含む。ダーティセクション120における作業は、これらには限定されないが、組み付け、及び加工（例えば、トリミング加工、ミリング加工、ドリル加工）を含む。作業は、これらの作業から、未硬化の複合材料を処理する際のクリーンルームの要求性能を低下させる塵埃または汚染物質が発生してしまう場合にダーティな作業であると考えられる。加工のような“ダーティな”作業の場合、ダーティセクション120は、塵埃及び屑を最小限に抑えてクリーニングを容易にする真空システム122を含むことができる。真空システム122は、塵埃を除去することにより最大98%以上の除去効率を有することができる。

20

【0012】

クリーンセクション130における作業では、複合材をマンドレル治具に積層する。幾つかの実施形態では、繊維は、静止している積層用マンドレル治具に堆積することができる。他の実施形態では、繊維は積層用マンドレル治具に、当該治具が回転している状態で堆積することができる。

【0013】

クリーンセクション130における作業は更に、カウルプレートを配置する作業、バギング、及び材料切断を含む。例えば、樹脂を注入した織物、または樹脂を予め含浸させた織物は、超音波ナイフで切断するか、またはプライカッターまたは手作業治具のような他の治具で切断することができる。樹脂注入も、クリーンセクション130において行なわれる必要がある。

30

【0014】

作業は、これらの作業がクリーンルームの要求性能を低下させることがなく、かつ汚染（例えば、未硬化複合材料をハンドリングする作業を含む処理）を考慮してクリーンルームで行なわれる必要がある場合にクリーンな作業であると考えられる。クリーンセクション130は、環境条件が規格内である状態を維持する空気浄化空調システム132を含むことができる。一般的に、複合材製造施設は、温度、湿度、及びパーティクル数が監視されるクラス400、000程度のクリーンルームを必要とする。装置及び治具は、ダーティセクション120からクリーンセクション130に移動するときにこれらの要求性能を満たす必要がある。もし仮に、クリーンセクション130が規格から外れてしまうと、システム132の空気循環フィルタで塵埃を空気から除去するために待ち時間が必要になる。

40

【0015】

製造セル110は、ダーティセクション120とクリーンセクション130との間を移動することができて、これらのクリーン作業及びダーティ作業の全てを実施することができる共通のエンドエフェクタ位置決めシステム140を含む。エンドエフェクタ位置決めシステム140は、これらの作業を実施する複数の交換可能なエンドエフェクタを用いることができる。これらのエンドエフェクタは、ダーティセクション120及びクリーンセクション130に配置されるエンドエフェクタステーション群150に設けることができ

50

る。手動、自動、または半自動交換装置を用いて、ダーティセクション120及びクリーンセクション130の両方に在るエンドエフェクタを交換することができる。

#### 【0016】

これらのエンドエフェクタは、加工（例えば、ミリング加工、ドリル加工）用治具、トリミング加工用治具、パネルまたはフェースシートに使われるテープ状トウまたはスリットテープ状トウをレイダウンする積層ヘッド、塗装用塗料噴霧ヘッド、プリプレグまたは乾燥材料を切断する超音波カッター、複合材部品を超音波検査するNDIヘッド（シュエを必要とする）、複合材部品を成形するストリングロール成形機、材料塗布機、及び複合材部品の幾何学寸法を検査する検査プローブを含むことができる。

#### 【0017】

幾つかの実施形態では、エンドエフェクタ位置決めシステム140は、複数の移動軸（例えば、最大7個の軸）を有するガントリー142のような単一の位置決め装置を含むことができる。他の実施形態では、位置決めシステム140は、クリーン作業及びダーティ作業を実施するロボットまたは複数ロボットを含むことができる。単一のロボットは、交換可能なエンドエフェクタを有することができる。複数ロボットは、専用エンドエフェクタ群を組み合わせて使用することができる。他の種類のエンドエフェクタ位置決めシステムは、線形デカルト座標軸プラットフォーム、回転軸プラットフォーム、及び平行運動を利用するスチュアートプラットフォームの組み合わせを含むことができる。特定の例は、ガントリー群、ロボット群、レール式ロボット群、回転式風車搭載プラットフォーム（post-mill type platform）、及びスチュアートプラットフォーム（例えば、六脚）を含む。これらの例の各例では、エンドエフェクタ位置決めシステム140は、要求性能（例えば、角度、速度、加速度、剛性、移動範囲、ユーティリティ機能、簡易脱着機能）を満たしながら選択エンドエフェクタを1つの位置に、または経路に沿って送り出して、当該位置決めシステムの機能を実行するように構成される。

#### 【0018】

エンドエフェクタ位置決めシステム140は、ダーティセクション120とクリーンセクション130との間を移動可能である。幾つかの実施形態では、エンドエフェクタ位置決めシステム140は、マシンレールシステム160により移動させることができる。他の実施形態では、エンドエフェクタ位置決めシステム140は、エアベアリングまたはホイールを介して移動させることができ、そして次に、自律的に位置決めすることができる。

#### 【0019】

マンドレル治具支持体170を設けて、マンドレル治具を積層作業中に支持する。幾つかの実施形態では、マンドレル治具支持体は、ダーティセクション120とクリーンセクション130との間を移動可能なテーブル170を含むことができる。当該テーブルは、ガントリー142の機械脚群の間で位置決め可能である。

#### 【0020】

エンドエフェクタ位置決めシステム140は、クリーニング用の平滑面を提供する金属板または他の材料で被覆することができる。エンドエフェクタ位置決めシステム140は更に、ポリエチレン製プラスチックを保護カバーとして利用することができる。このようなプラスチックは、ガントリー142をダーティセクション120からクリーンセクション130に移動させる前に、容易に取り外してクリーニングすることができる。これはつまり、クリーンルームの要求性能を維持し易いということになる。

#### 【0021】

幾つかの実施形態では、高速ドア、ストリップドア、またはフリーザドアのような障壁180でダーティセクション120とクリーンセクション130を分離する。これらのドアは、異なる状態になっているエリア間の環境制御状態を維持するように設計される。クリーンセクション130は、正圧に調整して塵埃及び他の汚染物質の侵入を防ぐ。

#### 【0022】

幾つかの実施形態では、障壁180はエアロックを含むことができ、このエアロックは

10

20

30

40

50

、固定することができるか、または持ち運ぶことができる。当該エアロックは、同時には開くことがない2つの気密ドアを連続して通る構成のチャンバを含むことができる。一般的に、エアロックは、人間及び物体が圧力容器と当該容器の包囲物との間を、容器内の圧力の変化、及び容器から漏れる空気容積を最小限に抑えながら通過することができるようになっている。アコーディオン構造を有するエアロックは、持ち運び可能な気密チャンバを含むことができ、この気密チャンバは、エンドエフェクタ位置決めシステム140を、当該エンドエフェクタ位置決めシステムがセクション120と130との間を移動するときに覆うことにより、汚染物質がクリーンセクション130に決して侵入することがないようになっている。

#### 【0023】

クリーンセクション130からダーティセクション120への移動が行なわれる場合、クリーンセクションドアを開き、エンドエフェクタ位置決めシステム140（既にクリーンになっている）をエアロックに移動させ、クリーンセクションドアを閉じ、ダーティセクションドアを開き、そしてエンドエフェクタ位置決めシステム140をダーティセクション120に移動させる。次に、ダーティセクションドアを閉じる。ダーティセクション120からクリーンセクション130への移動が行なわれる場合、ダーティセクションドアを開き、エンドエフェクタ位置決めシステム140（既に汚れている）をエアロックに移動させ、そしてダーティセクションドアを閉じる（クリーンセクションドアは既に閉じている）。エンドエフェクタ位置決めシステム140をクリーニングする（例えば、保護カバーを引き剥がし、そして当該システムをきれいに拭く）。エアロックの内部の環境がクリーンであることが確認された後、クリーンセクションドアを開き、そしてエンドエフェクタ位置決めシステム140をクリーンセクション130に移動させる。

#### 【0024】

製造セル110は更に、複合材部品を硬化させる近傍の硬化セクション190を含むことができる。幾つかの実施形態では、硬化セクション190は、プリプレグを熱及び圧力を加えた状態で硬化させるオートクレーブ192を含むことができる。他の実施形態では、硬化セクション190は、樹脂を注入した織物を、熱を加えた状態で硬化させる、またはオートクレーブを用いることなく処理するように設計されるプリプレグ材料を硬化させるオープン194を含むことができる。

#### 【0025】

硬化セクション190は、クリーンセクション130に隣接することが好ましい。すぐ近くに設けることにより、ハンドリング物流を簡素化する。複合材部品をオートクレーブに対して、マンドレル治具の下面に取り付けた、またはオートクレーブ硬化処理に耐えるように設計される台車に取り付けた耐熱キャスターまたはホイールで往復移動させることができる。

#### 【0026】

未硬化複合材部品の非破壊検査は、塵埃が非破壊検査作業の邪魔となることがないという条件で、ダーティセクション120において行なうことができる。非破壊検査は、接触媒質（例えば、水）がクリーンルームの要求性能を低下させないように制御されるという条件で、クリーンセクション130において行なうことができる。

#### 【0027】

エンドエフェクタ位置決めシステム140は更に、エンドエフェクタ位置決めシステム140（例えば、ガントリー142）をレールシステム160に沿って移動させ、そしてエンドエフェクタ位置決めシステム140に命令してクリーン作業及びダーティ作業を実施させる共通コントローラ144を含むことができる。コントローラ144にプログラムを、プログラミング及びシミュレーションツールから提供することができる。このプログラミング及びシミュレーションツールは、必要な指令を、製造セル110内で使用される種類の全てのエンドエフェクタに供給するように設計することができる。

#### 【0028】

製造セル110を用いて、より多くの複合材部品を製造することができる。当該製造セ

10

20

30

40

50

ルを用いて、複合材部品を形成する場合の取り付け先となるマンドレル治具を製造することもできる。製造セル110に、エンドエフェクタ群を設けることにより、積層用マンドレル治具を製造することができる。第1の例として、製造セル110に、エンドエフェクタ群を設けることにより、マスター治具（例えば、複合材）を製造することができ、今度は、このマスター治具を用いて、複合材成形治具を製造することができる。第2の例として、製造セル110に、ミリング加工機能及びドリル加工機能を有するエンドエフェクタ群を設けることにより、金属積層用治具を製造することができる。

#### 【0029】

次に、図2を参照するに、図2は、製造セル110を用いて、積層用マンドレル治具及び複合材部品の両方を製造する方法を示している。図2では、特定の種類の積層用治具を製造する：発泡体が充填され、かつ積層用層流平滑面となる複合材製フェースシートで被覆される多孔性構造体を含む、マスター治具以外の治具（masterless tool）を製造する。図7では、複合材部品は、何れの種類または用途にも限定されない。当該複合材部品は、製造用部品、取り替え用パネル、ファスナー結合用部材（例えば、ダブラー）などとすることができる。当該複合材部品は、ビークル（例えば、航空機、宇宙船、ボート、乗用車、トラック）用、風力発電装置（例えば、ブレード）用、または土木構造物（例えば、橋梁補強部材）用の部品とすることができる。

#### 【0030】

ブロック200では、コントローラ144は、治具及び部品を製造する指令を受信する。これらの指令は、エンドエフェクタ位置決めシステム140宛の命令となって、エンドエフェクタ位置決めシステム140にエンドエフェクタ群を選択させ、そして選択されたエンドエフェクタ群を使用して、これらのエンドエフェクタの所望の機能を実行させる。穴あけドリル加工用エンドエフェクタの場合、これらの指令は、ドリルの位置及び角度、送り速度、回転速度、及びドリルサイクル指令を含むことができる。治具をミリング加工する、または部品を端面トリミング加工する場合、ミリング加工用エンドエフェクタ指令は、カッターの通路、角度位置、回転速度、及び送り速度を含むことができる。繊維を配置するエンドエフェクタの場合、これらの指令は、ヘッドの通路、角度位置、及び異なるトウの切断及び合糸命令を含むことができる。これらの指令は、製造セル110用に設計されるプログラミング及びシミュレーションモジュールによって生成することができる。当該プログラミング及びシミュレーションモジュールは、これらの指令を、複合材部品及び治具に関連するエンジニアリングモデルに基づいて生成する。これらのモデルは、穴、トリム位置、及びプライ境界のような表面幾何学形状及び特徴を特定する。これらのエンジニアリングモデルは、部品及び治具の要求性能を規定する。当該プログラミング及びシミュレーションモジュールは、これらの要求性能をこれらのエンジニアリングモデルから取り込み、そしてこれらの要求性能を、製造セル110が処理することができる指令に変換する。次に、コントローラ144は、これらの指令を実行して次の操作を実施する。

#### 【0031】

ブロック210では、積層用マンドレル治具の多孔性構造体をダーティセクション120において作製する。積層用マンドレル治具は、複合材ヘッダーボードで作製することができ、これらの複合材ヘッダーボードは、ウォータージェットカッティング手段または外形加工機で切断することができる。幾つかの実施形態では、これらのヘッダーボードは、可動テーブルに組み付け、そして固定することにより、当該可動テーブルが、マンドレル治具の一部を“becomes（構成するようになる）”。

#### 【0032】

結果として得られる多孔性構造体に、散布混合液、プレキャスト材料ブロック、またはこれらを組み合わせた材料を用いて、発泡体を組み付け、そして発泡体を充填する。例えば、エンドエフェクタ位置決めシステム140は、発泡散布装置またはハンドリングエンドエフェクタをエンドエフェクタステーション150から選択する。当該散布装置は、2部のポリイソシアネート系のような治具用発泡体用途に対応するように選択される。ハンドリングエンドエフェクタを選択して、硬化前の治具用発泡体ブロックを治具ヘッダーボ

10

20

30

40

50

ードに載置する。

#### 【0033】

載置後、エンドエフェクタ位置決めシステム140は、ミリング加工用エンドエフェクタをエンドエフェクタステーション150から選択し、ミリング加工用エンドエフェクタを搭載し、そして発泡体及びヘッダーボードを加工する。次に、エンドエフェクタ位置決めシステム140は、プローブヘッドを選択し、そして搭載し、そして当該プローブヘッドを使用して、位置検証または検査を行なって幾何学形状が正しいことを確認する。

#### 【0034】

ブロック220では、クリーンセクション130において、フェースシート用の強化繊維を、加工後の多孔性構造体に積層する。幾つかの実施形態では、織物繊維を織物繊維給糸用エンドエフェクタから給糸することができ、そして給糸した織物繊維を超音波切断ナイフエンドエフェクタで切断することができる。織物繊維は、自動ファイバプレースメント (automated fiber placement) または自動積層 (automated tape layer) を行なうエンドエフェクタによって堆積することができる。他の実施形態では、積層は手動で行なうことができる。

10

#### 【0035】

ブロック230では、複合材料を硬化セクション190において硬化させる。樹脂を注入した積層体をオープンで硬化させる、またはプリプレグ積層体をオートクレーブで硬化させる、或いはオートクレーブなしの系をオープンで硬化させる。樹脂注入工程では、エポキシ材料を約350°Fの温度で加熱した後硬化を行ない、そしてBMI材料を約350°Fよりも高い温度で加熱した後硬化を行なうことができる。後硬化の前に、発泡材を、特に治具が背の高いヘッダーボードを有する場合のマンドレル治具から除去することができる。

20

#### 【0036】

ブロック240では、フェースシートをダーティセクション120において加工する。手仕上げが必要な場合も必ず、ダーティセクション120において行なう。適切な真空を利用して塵埃を収集する。治具を密閉する作業は、自動エンドエフェクタ（ローラのスプレー塗装）または手動プロセスを利用して行なうこともできる。次に、仕上げ後の積層用マンドレル治具をクリーニングし、そしてクリーンセクションに移送してパネルを積層する。

30

#### 【0037】

ブロック250では、複合材部品の複合材料をマンドレル治具にクリーンセクションにおいて積層する。部材積層は、エンドエフェクタ位置決めシステム140（例えば、AFPまたはATLを行なうエンドエフェクタを備える）によって自動的に行なうことができるか、またはパネル積層は手動で行なうことができる。

#### 【0038】

次に、カウルプレート部材積層体の上に配置することができる（仕上げに要求される性能によって異なる）。次に、部材積層体をバギングし、そして硬化セクションに移動させる。

#### 【0039】

ブロック260では、複合材部品の硬化セクション190において硬化させる。ブロック270では、硬化後の部品をダーティセクション120に移送し、このダーティセクション120において、トリミング加工及びドリル加工を行なう。

40

#### 【0040】

ブロック280では、トリミング加工及びドリル加工の後に、仕上げ後の部品を積層用治具から取り出す。比較的大きい部品は、昇降装置を用いて取り出すことができる。仕上げ後の部品をNDI装置に収納して、超音波検査が行えるようにする。エンドエフェクタ位置決めシステム140は、NDIを、部品形状に合わせることもできるNDI用エンドエフェクタ（シュー）を選択することにより実施することができる。

#### 【0041】

50

ブロック290では、NDIの後、部品をダーティセクションに移動させ、このダーティセクションにおいて、当該部品に塗装する（他の実施形態では、塗装は、別の施設で行なうことができる）。ガントリーは、塗装用エンドエフェクタを用いることができる。更に別の幾つかの換気装置（携帯型ダクトなど）を設けて、塗装をダーティセクション120において容易に行なうことができるようにする。

#### 【0042】

積層用マンドレル治具及びエンドエフェクタ位置決めシステム140は、ダーティセクション120からクリーンセクション130に移動する前にクリーニングされる。発泡体または炭素繊維を切断する場合、高性能真空回収システム122を配置して塵埃を、場合によっては或る冷媒を用いて最小限にとどめて、空中浮遊パーティクルを最小限に抑えることができる。

10

#### 【0043】

本明細書における製造セル110は、従来の製造施設よりも優れた利点を提供する。エンドエフェクタ位置決めシステムは、非常に高価になる傾向があるので、設備に対する設備投資額は、異なる機能を備える専用システムではなく、共通のエンドエフェクタ位置決めシステムを用いることにより大幅に減らすことができる。

#### 【0044】

本明細書における製造セルは、部品を、クリーン作業及びダーティ作業を1つのセクションで実施する施設よりも迅速に製造することができる。クリーン作業とダーティ作業の間でクリーニングする必要のある唯一の部材がエンドエフェクタ位置決めシステム140である。クリーン作業を実施する前にパーティクル数をカウントして落ち着かせるための待機時間を費やすことがない。

20

#### 【0045】

本明細書における製造セルは、比較的小さな設置面積で済ませることができる。部品を製造する製造セルが45フィート（13.716m）の長さ、幅20フィート（6.096m）の幅、及び12フィート（3.6576m）の高さという大きさである例について考察する。このようなセルは、約5,000平方フィート（464.5152平方メートル）の床面積、及び約25フィート（7.62m）の天井高さを有することができる。製造セルの床は、床の基礎がエンドエフェクタ位置決めシステム140の重量及び荷重に十分に耐える状態で平坦である必要がある。設置面積が比較的小さいことにより、1個の大型セルを大型の中央施設において組み立てるのではなく、多数の製造セルを異なる場所で組み立てることができる。

30

#### 【0046】

これらの利点は、新しいクラスの民間航空機の修理作業に特に有用である。この新しいクラスの航空機は、複合材料により形成される大型の一体構造セクション群を含む。

#### 【0047】

図3を参照するに、図3は、複合材製航空機300の一例を示している。航空機300は普通、胴体310と、翼アセンブリ群320と、そして尾部330と、を含む。1つ以上の推進装置340が、航空機300の胴体310、翼アセンブリ群320、または他の部分に接続される。着陸装置アセンブリ群350が胴体310に接続される。

40

#### 【0048】

幾つかの実施形態では、胴体310全体を、1個の一体構造複合材セクションにより形成することができる。他の実施形態では、胴体310は、複数の一体構造複合材セクションにより形成することができる。図3に示す例では、胴体310は、次の一体構造複合材バレルセクション：機首操縦室セクション（セクション41）、3つの中央セクション（セクション43、44、及び45）及び後端部セクション（セクション47及び48）により形成される。

#### 【0049】

客室ドア及び貨物室ドア360は5つのセクションに形成される。従って、全てのセクションが、地上ハンドリング施設による損傷の影響を受け易い。全てのセクションは更に

50

、地面の破片による損傷の影響を受け易い。機首操縦室セクションもまた、大きなエネルギー衝撃をもたらす鳥の衝突による損傷の影響を受け易い。機首操縦室セクションの下方突出部は、機首着陸脚が破損することに起因する損傷の影響を受け易い。端部セクションの下方突出部は、尾翼をぶつけることに起因する損傷の影響を受け易い。

#### 【0050】

大型民間航空機では、一体構造パネル全体を取り替えるよりも損傷部位を取り替える方が遥かに望ましい。更に、損傷部位は普通、ランダムに起こる。すなわち、損傷の箇所、損傷の厳密なサイズ、及び損傷の度合いは、偶発的事象ごとに異なる。従って、予備組立パネルを損傷部位に上手く嵌め込むことができないか、または全く嵌め込むことができない。有利な点として、本明細書における製造セルを用いて、損傷部位を取り替えるためにカスタマイズされる治具及びパネルを製造することができる。

10

#### 【0051】

本明細書における製造セルは、複合材製の製造部品、及びこれらの部品用の治具を製造するために用いることもできる。製造部品の例として、これらには限定されないが、ナセル、翼リブ、中心箱状構造体、及びドア構造を挙げることができる。

#### 【0052】

次に、図4及び5を参照するに、図4及び5は、ランダムに起こる胴体110の損傷部位510を示している。外板410への損傷の他に、当該外板と一体に形成される下層の補強下部構造420も損傷している可能性がある。補強下部構造は、前後方向に延設されるストリング420を含むことができ、これらのストリング420は、外板410と同時に硬化される。

20

#### 【0053】

次に、図6を参照するに、図6は、外板パネル620にボルト接合スプライスを介して取り付けられる代替えパネル610を示している。ボルト接合スプライスは、代替えパネル610及び外板パネル620の両方にボルトで取り付けられるダブラー630を含む。不均質構造フィラー650を使用して、ダブラー630と代替えパネル610または外板620との間の隙間を充填する。これらのスプライスは普通、円周形状、長手形状、及びコーナー形状を有する。

#### 【0054】

代替えパネルはサイズを変えることができる。代替えパネルは、約3'×3'から最大約42'×20'までの範囲の大きさとするすることができる。

30

#### 【0055】

次に、図7を参照するに、図7は、製造セルを用いて、カスタム一体構造代替えパネルを形成する方法を示している。ブロック710では、複合材構成部品の損傷部位を取り替えるために用いられるカスタム設計による代替え複合材パネルの設計を受け取る。当該設計は、外板、及び当該外板と一体に形成される補強下部構造の詳細なパネル定義を含む。この設計では、詳細なパネル定義を、最初に当該セクションに使用された外板及び下部構造に基づいて生成し、そして最初のパネル定義を変更することにより、代替えパネルを開口部に嵌め込むことができ、そして当該構成部品の凹凸に一致させることができる。パネル定義を生成する際、プライ境界、積層順、繊維組成及び繊維配向、及び各境界内のテープ幅を含む幾何学加工条件を生成する。

40

#### 【0056】

幾つかの実施形態では、詳細なパネル定義で、一体構造代替えパネルを指定する。すなわち、下層の全ての補強構造を外板と同時に硬化させる。他の実施形態では、詳細なパネル定義で、一体構造代替えパネルを指定することはせずに、一体に形成されるカスタムメイドの外板及び補強下部構造を、他の部材と一緒に含むハイブリッド構造を指定する。

#### 【0057】

当該設計は更に、機械的ファスナー結合部材群（例えば、スプライスダブラー及びフィラー）の詳細なパネル定義を含み、これらのファスナー結合部材を用いて代替えパネルを構成部品に機械的にファスナー結合する。損傷材料の厳密な位置、及び損傷の厳密な度合

50

いはランダムで予測不能であるので、修理に関するスプライスジョイント形状及び詳細は、存在しない可能性があり、生成する必要がある。細部パネルの枚数は、修理の規模及び複雑さによって異なる。複雑な修理では、例えば数十ダースのスプライスダブラー及び数千個のファスナーを用いる必要がある。この設計段階は、損傷に特有のものである。

#### 【0058】

当該設計は更に、パネル組み付け定義、及び取り付け定義を含む。これらの定義は、代替パネルを構成部品にファスナー結合部材（例えば、スプライスダブラー、フィラー、及びファスナー）を用いて取り付ける方法を記述している。

#### 【0059】

ブロック720では、代替パネルを設計に従って製造セルにおいて製造する。幾つかの実施形態では、種々の部材（例えば、外板及びスティフナ）を、製造で行なわれる通りに同時硬化させる。他の実施形態では、代替パネルの構成部材群のうちの幾つかの構成部材を機械的にファスナー結合して合体させる（例えば、取り外したストリング群をボルト締め固定して合体させ、そして外板に取り付ける）。しかしながら、同時硬化は、特に同時硬化させるパネルが既存の形状にぴったり一致する場合に好ましい。

10

#### 【0060】

切断は、代替パネルを製造した後に追加することができる。例えば、切断は、代替パネルが開口部よりも大きい場合に追加することができる。トリミング加工を追加して、確実に加工ギャップ公差を満足できるようにすることができる。確実に加工ギャップ公差を満足できるようにするこの最終嵌め込みは、修理サイトで行なうことができる。これらの代替パネルには、修理サイトでトリミング加工される有用な余剰部分を意図的に持たせてもよい。

20

#### 【0061】

ブロック730では、代替パネルを修理サイトに発送し、この修理サイトにおいて、当該代替パネルを開口部に取り付ける。この取り付けでは、代替パネルを構成部品に機械的にファスナー結合することができる。例えば、多数のスプライスダブラー（複合材製及び／又はチタン製）、フィラー、及びブラケットを用いて、代替パネルを当該セクションにファスナー結合することができる。

#### 【0062】

従来の複合材及び金属材（例えば、チタン）の製造方法を用いて、スプライスダブラー及び他の部材を製造することにより、代替パネルをファスナー結合することができる。幾つかの実施形態では、チタン製ファスナー結合部材を単独で、複合材製ファスナー結合部材を単独で、またはチタン製ファスナー結合部材及び複合材製ファスナー結合部材を組み合わせたファスナー結合部材を用いることができる。チタンからなる部材は、加熱成形加工のような従来のチタン製造プロセスにより形成することができる。複合材製ファスナー結合部材は、ハンドレイアップ、バギング、硬化処理、トリミング加工、及び非破壊超音波検査のような従来の複合材料プリプレグ製造方法により製造することができる。自動ファイバブレースメント（AFP）は、加工が可能な場合に、ハンドレイアップの代わりに用いることができる。幾つかの実施形態では、複合材料から成るダブラー、フィラー、及びスプライスは、代替パネルと同じ、または同様のプロセスの後に、同じ製造サイトを使用して製造することができる。

30

40

#### 【0063】

従って、図7の製造セル及び方法を用いて、1つ以上の一体構造複合材構成部材を有する新しいクラスの民間航空機を修理することができる。損傷している一体構造セクションが迅速に修理され（セクション全体を取り替えるよりもずっと速く）、これにより、航空機を運行できる状態に迅速に戻すことができる。従って、航空機の運行停止時間が短くなる。

#### 【0064】

製造セルの利点は、当該製造セルを航空機製造業者の主要製造施設から遠く離れて設けることができることである。例えば、製造セルを空港により近い場所に設けるか、または

50

航空機が修理される他の場所に設けることができる。より近くに設けることにより、物流コスト（例えば、梱包、輸送）を大幅に節約することができ、そして流通時間を短くすることができる。これによって更に、運行停止時間を短くすることができる。

#### 【0065】

マンドレル治具を製造し、そして当該マンドレル治具を同じサイトで使用すると、物流コストを更に大幅に節約することができ、そして流通時間を短くすることができる。これとは異なり、積層用マンドレル治具を1つのサイトで製造し、そして当該積層用マンドレル治具を別のサイトで使用すると、マンドレル治具を製造サイトに発送する工程、及び当該治具を製造サイトで梱包から取り出し、そして当該治具をセットする工程のような余分の工程を含んでしまう。

また、本願は以下に記載する態様を含む。

#### (態様1)

マトリックスに埋め込まれた強化繊維を有する部品を製造するセルであって、該セルは  
:

前記強化繊維をマンドレル治具に積層することを含むクリーン作業を実施するための、  
クリーンセクションであって、該クリーンセクションが、未硬化複合材料を処理するク  
リーンルームの要求性能を満たす、前記クリーンセクションと、

前記積層体を硬化後に加工することを含むダーティ作業を実施するための、隣接ダー  
ティセクションと、

前記クリーンセクションと前記ダーティセクションとの間を移動することができる共通  
エンドエフェクタ位置決めシステムと、

前記ダーティセクション内の汚染物質が前記クリーンセクションに侵入するのを防止す  
る手段と

を備える、セル。

#### (態様2)

前記マンドレル治具を前記クリーンセクションと前記ダーティセクションとの間で移動  
させる手段を更に備える、態様1に記載のセル。

#### (態様3)

前記エンドエフェクタ位置決めシステムはガントリーを含む、態様1又は2に記載のセ  
ル。

#### (態様4)

温度、湿度、及びパーティクル数を前記クリーンセクション内で維持して複合材料プロ  
セスの要求性能を満たす手段を更に備える、態様1乃至3のいずれか一つに記載のセル。

#### (態様5)

各セクションは、交換可能なエンドエフェクタを収容するエンドエフェクタワークス  
テーションを含み、前記エンドエフェクタ位置決めシステムは、複数の交換可能なエンド  
エフェクタを使用することにより、前記クリーン作業及び前記ダーティ作業を実施する、態  
様1乃至4のいずれか一つに記載のセル。

#### (態様6)

前記ダーティセクション内の前記エンドエフェクタ群は、加工用エンドエフェクタ群を  
含み；そして前記クリーンセクション内の前記エンドエフェクタ群は、積層用／材料切断  
用エンドエフェクタ群を含む、態様5に記載のセル。

#### (態様7)

更に、前記エンドエフェクタ位置決めシステムが使用することができる非破壊検査用エ  
ンドエフェクタ群を備える、態様5又は6に記載のセル。

#### (態様8)

前記マンドレル治具を製造するための、エンドエフェクタ群を前記ダーティセクション  
内に更に備える、態様5乃至7のいずれか一つに記載のセル。

#### (態様9)

スプライスダブラー及びフィラーを前記マンドレル治具で製造するエンドエフェクタ群

10

20

30

40

50

を更に備える、態様 5 乃至 8 のいずれか一つに記載のセル。

(態様 10)

硬化処理のための、前記クリーンセクションに隣接する硬化セクションを更に備える、態様 1 乃至 9 のいずれか一つに記載のセル。

(態様 11)

前記エンドエフェクタ位置決めシステム及び選択エンドエフェクタ群を前記クリーンセクション及び前記ダーティセクションの両方のセクション内で制御するための、共通コントローラを更に備える、態様 1 乃至 10 のいずれか一つに記載のセル。

(態様 12)

複合材部品を製造する態様 1 に記載の製造セルを使用する方法であって、該方法は：  
マンドレル治具を前記ダーティセクション内で製造するために、前記エンドエフェクタ位置決めシステムを用いることと、

前記マンドレル治具及び前記エンドエフェクタ位置決めシステムを前記クリーンセクション内に移動させることと、

強化繊維を前記治具に堆積するために、前記エンドエフェクタ位置決めシステムを用いることと、

前記マンドレル治具及び前記エンドエフェクタ位置決めシステムを前記ダーティセクションに戻るように移動させることと、

硬化後の前記部品を前記治具の上で加工することと  
を備える方法。

(態様 13)

前記エンドエフェクタ位置決めシステムを、前記クリーンセクションに移動させる前にクリーニングすることを更に備える、態様 12 に記載の方法。

(態様 14)

前記強化繊維をマンドレル治具に積層するために専用により用いられるクリーンセクションと、

前記積層体を硬化後に加工するために専用により用いられる隣接ダーティセクションと、

前記クリーンセクションと前記ダーティセクションとの間を移動することができる共通エンドエフェクタ位置決めシステムと

を備える、製造セル。

(態様 15)

各セクションは、交換可能なエンドエフェクタ群を収容するエンドエフェクタワークステーションを含み、前記エンドエフェクタ位置決めシステムは、複数の交換可能なエンドエフェクタを使用することにより、前記繊維積層及び前記加工を行なう、態様 14 に記載の製造セル。

(態様 16)

複合材積層作業を実施する交換可能なエンドエフェクタ群を含むクリーンセクションであって、該クリーンセクションが、未硬化複合材料を処理するクリーンルームの要求性能を満たす、前記クリーンセクションと、

前記クリーンセクションに隣接するダーティセクションであって、該ダーティセクションが、加工作業を実施する交換可能なエンドエフェクタ群を含む、前記ダーティセクションと、

前記クリーンセクションと前記ダーティセクションとの間を移動することができることにより、前記エンドエフェクタ群を選択し、そして使用して、前記積層作業を前記クリーンセクション内で実施し、そして前記加工作業を前記ダーティセクション内で実施するエンドエフェクタ位置決めシステムと

を備える、製造セル。

(態様 17)

前記ダーティセクション内の汚染物質が前記クリーンセクションに侵入するのを防止する手段を更に備える、態様 16 に記載の製造セル。

## (態様 18)

前記エンドエフェクタ位置決めシステムを前記クリーンセクションと前記ダーティセクションとの間で移動させる手段を更に備える、態様 16 又は 17 に記載の製造セル。

## (態様 19)

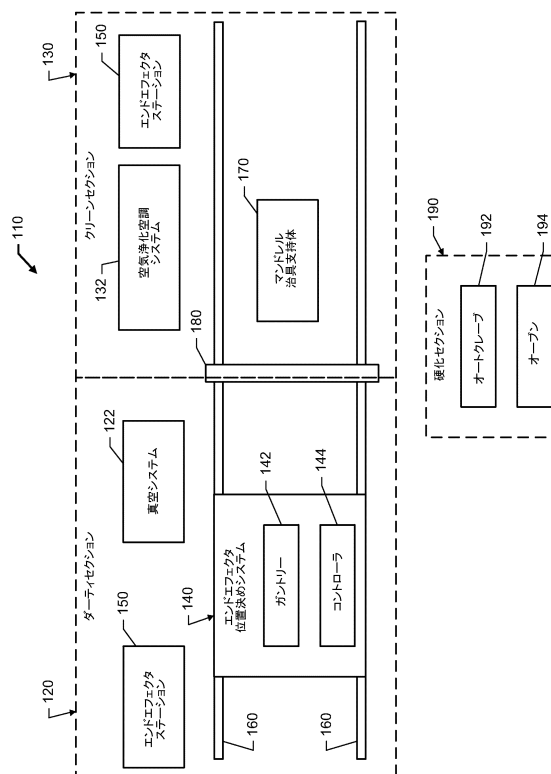
温度、湿度、及びパーティクル数を前記クリーンセクション内で維持して複合材料プロセスの要求性能を満たす手段を更に備える、態様 16 乃至 18 のいずれか一つに記載の製造セル。

## (態様 20)

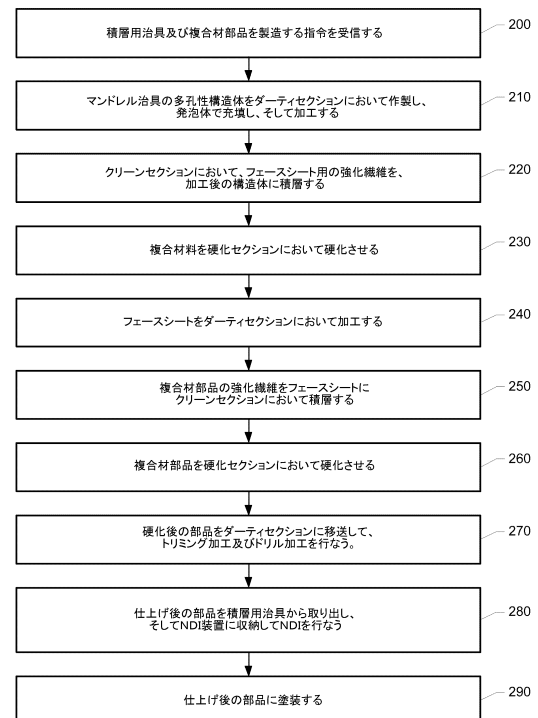
前記エンドエフェクタ位置決めシステム及び選択エンドエフェクタ群を、前記クリーンセクション及び前記ダーティセクションの両方のセクション内で制御するための、共通コントローラを更に備える、態様 16 乃至 19 のいずれか一つに記載の製造セル。

10

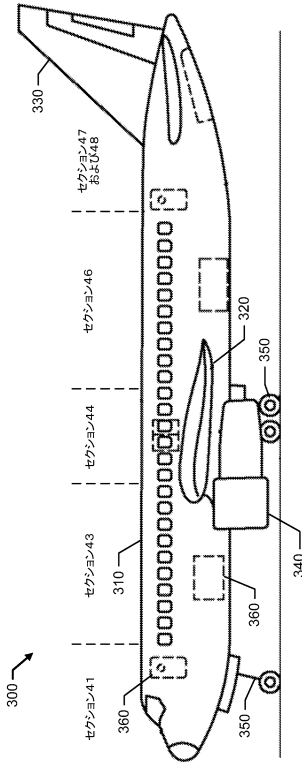
【図 1】



【図 2】

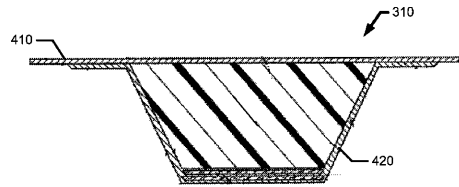


【図 3】



【図 4】

**FIG. 4**



【図 5】

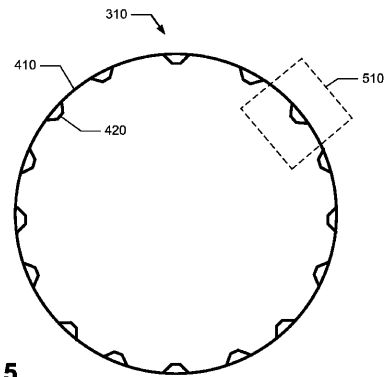
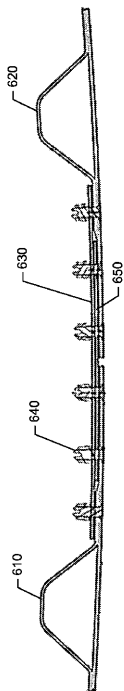
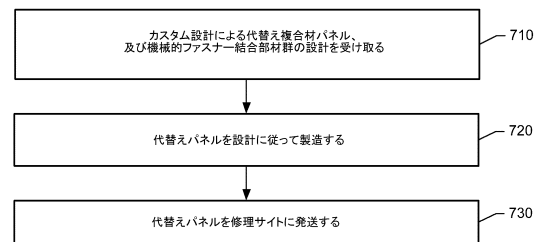


**FIG. 5**

【図 6】



【图 7】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
B 2 9 K 105:08

審査官 ▲高▼橋 理絵

(56)参考文献 特表2010-533098 (JP, A)  
特開平11-235782 (JP, A)  
特表2008-517810 (JP, A)  
特表2011-515242 (JP, A)  
特開2002-127184 (JP, A)  
特開平06-127497 (JP, A)  
特開2013-028332 (JP, A)  
特開2004-207279 (JP, A)  
特開2003-017376 (JP, A)  
特開2001-298069 (JP, A)  
特開2000-024971 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 2 9 C 7 0 / 0 0 - 7 0 / 8 8  
B 2 9 C 7 3 / 0 0 - 7 3 / 3 4  
B 2 9 C 4 3 / 0 0 - 4 3 / 5 8  
B 2 9 C 3 9 / 0 0 - 3 9 / 4 4  
B 2 9 C 6 3 / 0 0 - 6 3 / 4 8  
B 6 4 C 1 / 0 0