

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7000330号

(P7000330)

(45)発行日 令和4年2月10日(2022.2.10)

(24)登録日 令和3年12月27日(2021.12.27)

(51)国際特許分類		F I	
B 2 9 C	53/04 (2006.01)	B 2 9 C	53/04
C 0 8 J	5/24 (2006.01)	C 0 8 J	5/24
B 2 9 C	53/84 (2006.01)	B 2 9 C	53/84
B 2 9 C	70/30 (2006.01)	B 2 9 C	70/30

請求項の数 20 (全13頁)

(21)出願番号	特願2018-538087(P2018-538087)	(73)特許権者	517318182 サイテック インダストリーズ インコーポレイテッド アメリカ合衆国 ニュージャージー 08540, プリンストン, カーネギーセンター 504
(86)(22)出願日	平成29年1月22日(2017.1.22)	(74)代理人	110002077 園田・小林特許業務法人
(65)公表番号	特表2019-511390(P2019-511390A)	(72)発明者	ニュートン, サム イギリス国 レクサム エルエル115 エフダブリュ, ブラムボ, ランバートン ドライブ 106
(43)公表日	平成31年4月25日(2019.4.25)	(72)発明者	ヒル, サミュエル ジェー. イギリス国 レクサム エルエル114 アールジェー, ロスロビン, オリベック
(86)国際出願番号	PCT/US2017/014476		最終頁に続く
(87)国際公開番号	WO2017/127772		
(87)国際公開日	平成29年7月27日(2017.7.27)		
審査請求日	令和1年10月25日(2019.10.25)		
(31)優先権主張番号	62/281,321		
(32)優先日	平成28年1月21日(2016.1.21)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

(54)【発明の名称】 複雑な形状の複合材構造体の製造

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

(a) ツールハウジングの中に配置されたモールドを備えたツールハウジングを提供する工程であって、前記モールドが非平面状の成形面を有する、工程；

(b) 第1の成形可能なサブプリフォームを、成形面上に配置する工程；

(c) 第1の可撓性ダイアフラムとツールハウジングとによって囲まれた密閉されたチャンバーを規定するために、並びに第1のサブプリフォーム及びモールドを前記密閉されたチャンバーの中に封入するために、第1の可撓性ダイアフラムをツールハウジングに取り付ける工程；

(d) 第2の成形可能なサブプリフォームを、第1の可撓性ダイアフラムと、第1の可撓性ダイアフラムの上に位置する第2の可撓性ダイアフラムとの間に封入する工程であって、第1及び第2の可撓性ダイアフラムが気密シールポケットを規定する、工程；

(e) サブプリフォームに熱をかける工程；

(f) 第1の可撓性ダイアフラムとツールハウジングとによって囲まれた密閉されたチャンバーから、第1の可撓性ダイアフラムが成形面の方へ引っ張られるように真空圧に到達するまで空気を排気することで、第1のサブプリフォームを成形面と一致させ、それにより第1の成形されたサブプリフォームを形成し、密閉されたチャンバーからの空気の排気と同時に、第2の可撓性ダイアフラムが成形面の方へ同時に引っ張られるのを防止するために第1と第2の可撓性ダイアフラムの間の密閉されたポケットを大気圧まで通気する工程；

(g) 第1と第2の可撓性ダイアフラムの間の密閉されたポケットから、第2の可撓性ダイアフラムがモールドの方へ引っ張られるように真空圧に到達するまで空気を排気することで第2のサブプリフォームを第1のサブプリフォームの外表面と一致させ、それにより第2の成形されたサブプリフォームを形成する工程；

(h) 成形されたサブプリフォームを冷却する工程；並びに

(i) 成形されたサブプリフォームを、液体樹脂で注入可能な最終的なプリフォームへと組み立てる工程；

を含む、三次元構造を有する繊維質プリフォーム製造のための形状形成方法であって、各サブプリフォームが互いに結合している複数の繊維質層を含み、各サブプリフォームが液体樹脂に透過性である、方法。

10

【請求項2】

(d)と(e)との間に、第3の成形可能なサブプリフォームを、第2の可撓性ダイアフラムと、第2の可撓性ダイアフラムの上に位置する第3の可撓性ダイアフラムとの間に封入する工程であって、第2及び第3の可撓性ダイアフラムが気密シールポケットを規定する、工程；

(g)と同時に、第3の可撓性ダイアフラムが第2の可撓性ダイアフラムと同時に成形面の方へ同時に引っ張られるのを防止するために、第2と第3の可撓性ダイアフラムの間の密閉されたポケットを大気圧まで通気する工程；

(g)と(h)との間に、第2と第3の可撓性ダイアフラムの間の密閉されたポケットから、第3の可撓性ダイアフラムがモールドの方へ引っ張られるように真空圧に到達するまで空気を排気することで第3のサブプリフォームを第2の成形されたサブプリフォームの外表面と一致させ、それにより第3の成形されたサブプリフォームを形成する工程；

20

を更に含む、請求項1に記載の形状形成方法。

【請求項3】

(f)で、第1の可撓性ダイアフラム及びツールハウジングにより囲まれた密閉されたチャンバーから、約1～約50mbar/分の速度で空気が排気され、

(g)で、第1と第2の可撓性ダイアフラムの間の密閉されたポケットから、約1～約50mbar/分の速度で空気が排気される、

請求項1に記載の形状形成方法。

【請求項4】

30

(f)で、第1の可撓性ダイアフラム及びツールハウジングにより囲まれた密閉されたチャンバーから、約250～約1000mbarの範囲内の真空圧に到達するまで空気が排気され、

(g)で、第1と第2の可撓性ダイアフラムの間の密閉されたポケットから、約250～約1000mbarの範囲内の真空圧に到達するまで空気が排気される、

請求項1又は3に記載の形状形成方法。

【請求項5】

第2と第3の可撓性ダイアフラムの間の密閉されたポケットから、約1～約50mbar/分の速度で空気が排気される、請求項2に記載の形状形成方法。

【請求項6】

40

第2と第3の可撓性ダイアフラムの間の密閉されたポケットから、約250～1000mbarの範囲内の真空圧に到達するまで空気が排気される、請求項2に記載の形状形成方法。

【請求項7】

(g)の後かつ(h)の前に、サブプリフォームの更なる圧縮を達成するために、第1の可撓性ダイアフラムとツールハウジングとによって囲まれた密閉されたチャンバーから、及び第1と第2の可撓性ダイアフラムの間の密閉されたポケットから、空気を排気する工程を更に含む、請求項1、3及び4のいずれか一項に記載の形状形成方法。

【請求項8】

(d)と(e)との間に、第2のサブプリフォームを適切な位置に保持するために、第1

50

と第2の可撓性ダイアフラムとの間の密閉されたポケットから部分的に空気を排気する工程を更に含む、請求項1、3、4及び7のいずれか一項に記載の形状形成方法。

【請求項9】

各サブプリフォームが、繊維質層を互いに結合させるためのバインダーを含み、サブプリフォーム中のバインダーを軟らかくするために(e)で熱がかけられる、請求項1～8のいずれか一項に記載の形状形成方法。

【請求項10】

各繊維質層が、炭素、アラミド、ガラス、ポリエチレン(PE)、ポリエステル、ポリ-p-フェニレン-ベンゾビスオキサゾール(PBO)、石英、アルミナ、ジルコニア、炭化ケイ素、及びこれらの組み合わせから選択される材料から形成された繊維を含む、請求項1～9のいずれか一項に記載の形状形成方法。

10

【請求項11】

可撓性ダイアフラムが、ポリアミドのシート又はゴム若しくはシリコーンの弾性的に変形可能なシートである、請求項1～10のいずれか一項に記載の形状形成方法。

【請求項12】

各可撓性ダイアフラムが、約100µm未満の厚さを有する、請求項11に記載の形状形成方法。

【請求項13】

各サブプリフォームが、一方向繊維の複数の層を含む、請求項1～12のいずれか一項に記載の形状形成方法。

20

【請求項14】

一方向繊維の各層が、隣接する層の中の繊維に対してある角度に配向している繊維を含む、請求項13に記載の形状形成方法。

【請求項15】

各サブプリフォーム中の繊維質層の数が2～30である、請求項1～14のいずれか一項に記載の形状形成方法。

【請求項16】

各サブプリフォームが一方向繊維の複数の層を含み、各サブプリフォーム中の少なくとも1つの層が、サブプリフォームの長手方向軸に対して0°の方向(すなわち平行)に配向している繊維を含む、請求項1～15のいずれか一項に記載の形状形成方法。

30

【請求項17】

サブプリフォーム中のバインダーがエポキシ樹脂と熱可塑性ポリマーとのブレンド物を含む、請求項9に記載の形状形成方法。

【請求項18】

請求項1～17のいずれか一項に記載の方法により製造された最終的なプリフォームに硬化性液体樹脂を注入する工程；及び  
樹脂が注入されたプリフォームを硬化させる工程；  
を含む、繊維強化複合材部品の製造方法。

【請求項19】

硬化性液体樹脂が1種以上の熱硬化性樹脂及び硬化剤を含む、請求項18に記載の方法。

40

【請求項20】

(a) ツールハウジングの中に配置されたモールドを備えたツールハウジングを提供する工程であって、前記モールドが非平面状の成形面を有する、工程；

(b) 第1の成形可能なプリプレグレイアップを、成形面上に配置する工程；

(c) 第1の可撓性ダイアフラムとツールハウジングとによって囲まれた密閉されたチャンパーを規定するために、並びに第1のプリプレグレイアップ及びモールドを前記密閉されたチャンパーの中に封入するために、第1の可撓性ダイアフラムをツールハウジングに取り付ける工程；

(d) 第2の成形可能なプリプレグレイアップを、第1の可撓性ダイアフラムと、第1の可撓性ダイアフラムの上に位置する第2の可撓性ダイアフラムとの間に封入する工程であ

50

って、第 1 及び第 2 の可撓性ダイアフラムが気密シールポケットを規定する、工程；

( e ) プリプレグレイアップに熱をかける工程；

( f ) 第 1 の可撓性ダイアフラムとツールハウジングとによって囲まれた密閉されたチャンバーから、第 1 の可撓性ダイアフラムが成形面の方へ引っ張られるような真空圧に到達するまで空気を排気することで第 1 のプリプレグレイアップを成形面と一致させ、それにより第 1 の成形されたプリプレグレイアップを形成し、密閉されたチャンバーからの空気の排気と同時に、第 2 の可撓性ダイアフラムが成形面の方へ同時に引っ張られるのを防止するために第 1 と第 2 の可撓性ダイアフラムの間の密閉されたポケットを大気圧まで通気する工程；

( g ) 第 1 と第 2 の可撓性ダイアフラムの間の密閉されたポケットから、第 2 の可撓性ダイアフラムがモールドの方へ引っ張られるような真空圧に到達するまで空気を排気することで第 2 のプリプレグレイアップを第 1 の成形されたプリプレグレイアップの外表面と一致させ、それにより第 2 の成形されたプリプレグレイアップを形成する工程；

( h ) 成形されたプリプレグレイアップを冷却する工程；並びに

( i ) 成形されたプリプレグレイアップを最終的なプリプレグレイアップへと組み立てる工程；

を含む、プリプレグブライの成形方法であって、

各プリプレグレイアップが複数のプリプレグブライを含み、各プリプレグブライが硬化樹脂で含浸された強化繊維を含む、プリプレグブライの成形方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、概して複合材構造体の製造に関する。

【図面の簡単な説明】

【0002】

【図 1】完全な複合材レイアップを 3 つのサブプリフォームに分割し得る方法を示す。

【図 2】本開示のある実施形態に従って 3 つのサブプリフォームの形状を成形するための装置の概略図である。

【図 3】ツールハウジングにダイアフラムを取り付けるためのある実施形態である。

【図 4】ツールハウジングにダイアフラムをクランプ留めするための機構の拡大図である。

【図 5】図 2 に示されている装置に基づく熱ドレープ成形法の概略図である。

【図 6】図 2 に示されている構成に基づく熱ドレープ成形法の概略図である。

【図 7】図 2 に示されている構成に基づく熱ドレープ成形法の概略図である。

【図 8】本開示のある実施形態にかかる熱ドレープ成形法のためのフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0003】

近年、繊維強化複合材料の使用は、航空宇宙産業及び自動車産業においてより広く行われるようになってきている。これらの複合材料は、高い強度のみならず過酷な環境下での耐腐食特性も示す。更に、これらの軽量性は、金属から構成される同様の部品と比較した場合に特に有利である。

【0004】

繊維強化複合材料は、従来、エポキシなどの硬化性マトリックス樹脂で含浸された連続繊維から形成されるプリプレグから製造されてきた。プリプレグ中の樹脂の含有率は比較的高く、典型的には 20 重量% ~ 50 重量% である。プリプレグの複数のブライは積層するための大きさに切断され、その後引き続き組み立てられて成形型で成形され得る。プリプレグを成形型の形状に合わせることが簡単にはできない場合には、成形面の形状に徐々に変形させるためにプリプレグに熱がかけられる場合がある。

【0005】

より最近では、繊維強化ポリマー複合材料は、樹脂トランスファー成形 (RTM) 及び真空補助樹脂トランスファー成形 (VARTM) を含む液体樹脂注入法を利用することによ

10

20

30

40

50

って製造されている。樹脂注入法によって複合材部品を形成するためには、強化繊維の層は、成形されたプリフォームを形成するために最初にモールドの上に積層され、その後にその場所でプリフォームの中に液体樹脂が直接注入される。繊維の層は、通常、実質的に樹脂を含まない織物のプライの形態である。樹脂注入後に、樹脂が注入されたプリフォームが硬化サイクルに従って硬化されることで、硬化した複合材構造体が製造される。RTMなどの樹脂の注入は、小さくて複雑な形状の部品だけでなく、翼全体などの航空機の大きい部品の製造にも使用される。

#### 【0006】

樹脂注入によって複合材部品を形成するためには、プリフォームの積層が製造工程における重要な要素である。プリフォームは、本質的に樹脂を待つ構造部品である。特定の航空機部品のためには、樹脂の注入前に、平らな2次元(2D)のプリフォームブランクが3次元(3D)形状へと成形される。プリフォームブランクは、積層構成で組み立てられた繊維質層のレイアップである。繊維質層は、典型的には連続的な一方向の炭素繊維のプライである。プライは、最終的な複合材部品に望まれる構造特性に応じて、互いに異なる角度を向いていてもよい。例えば、各プライ中の一方向繊維は、レイアップの長さ方向に対して0°、45°、又は90°などの選択された角度に配向していてもよい。航空機のC字形又はU字形の翼桁などの複雑な形状を形成するために多数のプライが成形される場合、プライの皺及び繊維の座屈が問題になることが分かっている。

#### 【0007】

皺の形成又は繊維の座屈なしに多数の繊維質層を積層することができる、複雑な形状の繊維質プリフォームを成形するための方法(本明細書では「熱ドレープ成形法」という)が開示される。通常、熱ドレープ成形法は：

a) 繊維質プリフォームの総数を複数のサブプリフォームに分割する工程；

b) 連続して(すなわち順番に)、真空圧及び熱をかけることによって各サブプリフォームを成形する工程であって、全てのサブプリフォームの成形が、同じ成形面上で同じツールハウジングの中で行われる、工程；

を含む。

#### 【0008】

各サブプリフォームは、積層構成で積層された繊維の複数の層(又はプライ)からなる。サブプリフォームの数は2以上であり、例えば2~5である。一体化されると、サブプリフォームは完全な構成要素レイアップ(これは樹脂が注入されることになる最終的なプリフォームである)のために必要とされる総数のプライを与える。図1は、完全な複合材レイアップを3つのサブプリフォームに分割し得る方法を示す。完全な構成要素レイアップとは、製造される構成部品の望ましい機械的性能を達成するために必要とされる数の繊維質プライを意味する。完全な構成要素レイアップのより小さいサブグループへの分割又はグループ化は、本明細書ではサブプリフォームと定義する。

#### 【0009】

サブプリフォームの繊維質プライは、繊維の配向を維持するため及び繊維質層を安定化するために、少量のバインダーによって適切な位置に保持(すなわち「安定化」)される。バインダーは、後続の樹脂注入工程(これは典型的にはプリフォームの中への液体樹脂の加圧注入を必要とする)の際に繊維を適切な位置に保持する。そのようなバインダーは、各繊維質プライ及び/又は隣接するプライ間に液体形態又は粉末形態で塗布される場合がある。

#### 【0010】

図2は、ある実施形態にかかる熱ドレープ成形法を行うための装置を示す。図2を参照すると、凸面形状の成形面を有するモールド11を含むツールハウジング10が用意される。最初の段階として、実質的に平らなサブプリフォームS1がモールド11の成形面上に配置される。次いで、最下部の可撓性ダイアフラム12が、ツールハウジング10の上に配置され、ツールハウジング10の周囲に固定されることで気密シールを形成する。そのため、密閉されたチャンバC1は、最下部のダイアフラム12とツールハウジング1

10

20

30

40

50

0 によって規定される。第 2 のサブプリフォーム S 2 がダイアフラム 1 2 の上に配置され、第 2 の可撓性ダイアフラム 1 3 が最下部のダイアフラム 1 2 の上に配置されることで第 2 のサブプリフォーム S 2 が封入され、ダイアフラム 1 2 と 1 3 との間に気密シール空間（又は「ポケット」）C 2 が規定される。次に、第 3 のサブプリフォーム S 3 がダイアフラム 1 3 の上に配置され、第 3 の可撓性ダイアフラム 1 4 がダイアフラム 1 3 の上に配置されることで第 3 のサブプリフォーム S 3 が封入され、ダイアフラム 1 3 と 1 4 との間に気密シールポケット C 3 が規定される。ダイアフラム 1 2、1 3、及び 1 4 は、従来のクランプ留め及び密閉機構を使用してツールハウジング 1 0 に取り付けることができる。例として、ダイアフラム 1 2、1 3、及び 1 4 のそれぞれは、支持されている外周によって望ましいダイアフラム形状を維持するために、その外周部でフレームに取り付けられていてもよい。また、ダイアフラムのフレームは、気密シールされたチャンバー C 1 を形成するために、及び隣接するダイアフラム間に密閉されたポケット C 2、C 3 を規定するために、機械的なクランプ留め機構によってツールハウジング 1 0 に取り付けられる。ダイアフラムのフレームの形状は、外周にダイアフラムを固定し、密閉を生じさせるために特別に設計されている。例えば、図 3 は、ツールハウジングの外周にダイアフラム 1 2、1 3、1 4 をしっかりと固定するために対応するフレーム 3 1、3 2、3 3 が設けられ得ることを示している。図 3 を参照すると、ツールハウジングの側壁 3 4 は、最も下のダイアフラム 1 2 をツールハウジングに固定するために最も下のカウンターフレーム 3 3 と嵌合するように構成される。カウンターフレーム 3 1、3 2、3 3 は、クランプ 3 5 によって、一緒に及びツールハウジングの側壁 3 4 に機械的にクランプ留めされる。図 4 に示されているようなカウンターフレームの表面及び側壁 3 4 の上面に例えばゴムシール 4 1 を付加すると、クランプ留めの力を受けている場合に気密シールが生じるであろう。密閉されたチャンバー C 1 及びポケット C 2、C 3 のそれぞれは、別個の真空源と接続される（図示せず）。図 4 を参照すると、チャンバー C 2 及び C 3 のための真空源は、中空のカウンターフレームの内壁の中の穴 4 2 を介して運ばれてもよく、その際、真空源は、各中空のフレームの外表面の中の開口と真空ラインを介して接続され、これによりそこから空気を抜くためのシールポケット C 2 及び C 3 中の圧力の制御ができる。3 つのサブプリフォームと 3 つのダイアフラムが図示されているものの、ダイアフラムの数を変更することによって、2 つのみのサブプリフォームあるいは 3 つより多いサブプリフォームが収容されるように装置を修正し得ることに留意すべきである。

#### 【 0 0 1 1 】

最初に、ダイアフラム（1 2、1 3、1 4）の間の空気が部分的に除去されてサブプリフォーム S 2 及び S 3 が所定の位置にしっかりと保持される。次に、サブプリフォーム中のバインダーを軟らかくするため及びサブプリフォームの剛性を失わせることができるように加熱が行われる。加熱は、ツールハウジング 1 0 の上部及び/又はツールハウジングの側壁に隣接する一連の赤外線ランプによって行うことができる。加熱は、オープンの中にツールハウジングを入れることによって、あるいはダイアフラムアセンブリの上面に直接置かれた加熱されたマットを付加することによって行うことができる。

#### 【 0 0 1 2 】

図 5 を参照すると、望みの温度に到達した後、ツールハウジング 1 0 の密閉されたチャンバー C 1 から所定の速度で、例えば約 1 m b a r / 分以上、より詳しくは約 1 m b a r / 分～約 5 0 m b a r / 分の範囲で、空気が排気される。密閉されたチャンバー C 1 が排気されるのに伴って、最下部のダイアフラム 1 2 がモールド 1 1 の方に引っ張られ、それによりサブプリフォーム S 1 がモールド表面の形状と一致する。密閉されたチャンバー C 1 の排気と同時に、ダイアフラム 1 3、1 4 がダイアフラム 1 2 と同時に引っ張られるのを防止するために、密閉されたポケット C 2（ダイアフラム 1 2 と 1 3 との間）からの空気が大気圧まで通気され、それによりサブプリフォーム S 2 及び S 3 の早すぎる成形が防止される。

#### 【 0 0 1 3 】

図 6 を参照すると、密閉されたチャンバー C 1 の真空レベルが少なくとも 1 0 m b a r 絶

10

20

30

40

50

対圧のレベルに到達した後、例えば約250～約1000mbarの範囲内の真空圧に到達するまで、ダイアフラム12と13との間の空気（すなわち密閉されたポケットC2）が所定の速度で排気され、それによりサブプリフォームS2がその前に成形されたサブプリフォームS1の外側の形状と一致し、それと同時に、ダイアフラム14がダイアフラム13と同時に引っ張られるのを防止するために、ダイアフラム13と14との間の密閉されたポケットが大気圧まで通気され、それによりサブプリフォームS3の成形が防止される。ダイアフラム12と13との間の密閉されたポケットC2から、1mbar/分以上、より具体的には約1mbar/分～約50mbar/分の範囲の速度で空気が排気されてもよい。

【0014】

図7を参照すると、ダイアフラム12と13との間の密閉されたポケットC2の中の圧力が10mbar絶対圧より大きい圧力に到達すると、例えば約250～約1000mbarの範囲内の真空圧に到達するまで、ダイアフラム13と14の間の空気（すなわち密閉されたポケットC3）が所定の速度で排気され、それによりサブプリフォームS3がその前に成形されたサブプリフォームS2の外側の形状と一致する。ダイアフラム13と14との間の密閉されたポケットC3から、1mbar/分以上、より具体的には約1mbar/分～約50mbar/分の範囲の速度で空気が排気されてもよい。

【0015】

加熱は、全てのサブプリフォームの成形中に維持される。この方法では、サブプリフォームは単一の加熱サイクル内で行うことができる。

【0016】

サブプリフォームの形状成形工程が完了した後、工作チャンパーと最下部のダイアフラムとの間、及び連続したダイアフラム間の圧力は、工程の冷却段階の前又は最中にサブプリフォームの圧縮を最適化するために調節することができる。そのような調節は、望ましいプリフォームの圧縮を達成するための望ましい圧力に到達するまで、ツールハウジングの密閉されたチャンパーから、及びダイアフラム間領域から、空気の排気を継続することによって行われる。サブプリフォームの圧縮は、最終的なプリフォームのかさ高さを制御するために調節することができ、これはひいては材料の浸透特性に影響を与え得る。樹脂注入のための具体的なモールドの中にプリフォームを適合させるためにかさ高さの調整を要する場合がある一方で、樹脂注入のための繊維質材料の特性を最適化するために浸透性の調整を要する場合がある。

【0017】

形状成形工程が完了した後、サブプリフォームが冷却される。この時点で、サブプリフォーム中のバインダーは再び固化し、サブプリフォームはその新たに成形された形状を保持する。サブプリフォームの冷却後、ダイアフラム（12、13、14）の間の真空及びダイアフラム12とツールハウジング10との間の真空は大気と通気することにより逐次的に開放され、成形されたサブプリフォームは逐次的に取り外される。最上部のダイアフラム14が最初に持ち上げられ、その結果成形されたサブプリフォームS3を取り外すことができ、引き続きダイアフラム13、サブプリフォームS2、ダイアフラム12、及びその後サブプリフォームS1の取り外しが行われる。次いで、空気がツールハウジング10の中に再導入され、形状成形工程を繰り返す準備が整えられる。取り外されたサブプリフォームはその後、後続の樹脂注入のための最終的なプリフォームへと組み立てられる。

【0018】

熱ドレープ成形法のための可撓性ダイアフラムは、約100μm未満の厚さを有する、ポリアミド（例えばナイロン材料）の非弾性シート、又は弾性的に変形可能なゴム若しくはシリコーンのシートであってもよい。本明細書に開示の可撓性シートとは、ASTM D882により決定される例えば100%～750%などの約100%より大きい破断伸びを有する材料のシートを意味する。

【0019】

図8は、図5～7を参照して説明した熱ドレープ成形法についてのフローチャートである

10

20

30

40

50

。3つのサブプリフォームが例示の目的で開示されているが、例えば2つのサブプリフォームあるいは3つより多いサブプリフォームなどの任意の数のサブプリフォームに、この方法が適用できることを理解すべきである。図8の100では、第1の成形可能なサブプリフォームが、ツールハウジングの中に位置しているモールドの成形面の上に配置される。101では、第1の可撓性ダイアフラムがツールハウジングの上に配置され、ツールハウジングの外周に固定されることで気密シールが形成される。そのため、密閉されたチャンバーは、第1のダイアフラムとツールハウジングとによって規定される。102では、第2の成形可能なサブプリフォームが第1のダイアフラムの上に配置され、第2の可撓性ダイアフラムが第2のサブプリフォームの上に配置されることで第2のサブプリフォームが封入され、第1と第2のダイアフラムの間に気密シール空間（又は「ポケット」）が規定される。103では、第1と第2のダイアフラムの間の空気が部分的に除去されて第2のサブプリフォームが所定の位置にしっかり保持される。104では、第3の成形可能なサブプリフォームが第2のダイアフラムの上に配置され、第3の可撓性ダイアフラムが第3のサブプリフォームの上に配置されることで第3のサブプリフォームが封入され、第2と第3のダイアフラムの間に気密シール空間（又は「ポケット」）が規定される。105では、第2と第3のダイアフラムの間の空気が部分的に除去されて第3のサブプリフォームが所定の位置にしっかり保持される。106では、中のバインダーを軟らかくするためにサブプリフォームに対して加熱が行われる。

#### 【0020】

107では、ツールハウジングの密閉されたチャンバーから所定の速度で空気が排気され、第1のダイアフラムはモールド表面の方へ引っ張られ、それにより第1のサブプリフォームがモールド表面の形状と一致する。ツールハウジングの密閉されたチャンバーの排気と同時に、第2及び第3のダイアフラムが同時に引っ張られるのを防止するために第1と第2のダイアフラムの間の密閉されたポケットから空気が大気圧まで通気され、それにより第2及び第3のサブプリフォームの早すぎる成形が防止される。

#### 【0021】

108では、ツールハウジングの密閉されたチャンバーの真空レベルが少なくとも10 mbar (TBC) 絶対圧のレベルに到達した後、例えば、約250～約1000 mbarの範囲内の真空圧に到達するまで、第1と第2のダイアフラムの間の空気が所定の速度で排気され、第2のダイアフラムはその前に成形された第1のサブプリフォームの方へ引っ張られ、それにより第2のサブプリフォームが第1のサブプリフォームの外側の形状と一致し、それと同時に、第3のダイアフラムが同時に引っ張られるのを防止するために第2と第3のダイアフラムの間の密閉されたポケットが大気圧まで通気され、それにより第3のサブプリフォームの早すぎる成形が防止される。109では、第1と第2のダイアフラムの間の密閉されたポケットの真空レベルが10 mbar 絶対圧より大きい水準に到達した後、第2と第3のダイアフラムの間の空気が所定の速度で排気され、第3のダイアフラムはその前に成形された第2のサブプリフォームの方へ引っ張られ、それにより第3のサブプリフォームが成形された第2のサブプリフォームの外側の形状と一致する。上で開示したように、空気は、各サブプリフォームの成形中に、約1 mbar /分以上の速度で、より詳しくは約1 mbar /分～約50 mbar /分の範囲の速度で排気されてもよい。

#### 【0022】

110では、望みの圧力に到達し、望みのプリフォームの圧縮が達成されるまで、ツールハウジング及びダイアフラム間の領域からの空気の排気が継続される。111では、サブプリフォームはその剛性を保持するまで冷却される。

#### 【0023】

本開示の熱ドレーブ成形法によって、多段階工程のルートに関連する時間的なペナルティ及びコストなしにサブプリフォームの組立が可能になる。本開示の熱ドレーブ成形法は、より広い範囲の成形形状、積層体積層構成、及びプライ数に適用される形成技術も可能にし、それによりプリフォーム形成技術の著しい発展をもたらす。

#### 【0024】

10

20

30

40

50

## プリフォーム材料

本発明に関するサブプリフォーム及びプリフォームは、複合材料の強化成分を構成する乾燥繊維の組立体又は乾燥繊維の層であり、RTMなどの樹脂注入用途に好適な形態である。

### 【0025】

成形されるサブプリフォームブランクは、繊維質材料の複数の層又はプライからなり、これらとしては、一方向繊維、不織マット、織物、編物、及びノンクリンプ織物を挙げることができる。サブプリフォームブランクは、実質的に平らであってもよい。「マット」は、その形態を維持するために塗布されたバインダーを有するチョップドファイバフィラメント（チョップドストランドマットを製造するため）又は渦巻き状のフィラメント（連続ストランドマットを製造するため）などの、ランダムに配向している繊維からなる不織繊維織物である。好適な織物としては、メッシュ、トゥ、テープ、スクリム、紐などの形態の、方向性をもってあるいは無方向に並んだ繊維を有するものが挙げられる。繊維質層又は織物中の繊維は、有機繊維、無機繊維、又はこれらの混合物であってもよい。有機繊維は、アラミド（Kevlar等）、高弾性ポリエチレン（PE）、ポリエステル、ポリ-p-フェニレン-ベンゾビスオキサゾール（PBO）、及びこれらのハイブリッドの組み合わせなどの頑丈な又は堅いポリマーから選択される。無機繊維としては、炭素（グラファイト等）、ガラス（E-ガラス又はS-ガラス繊維等）、石英、アルミナ、ジルコニア、炭化ケイ素、及び他のセラミックからなる繊維が挙げられる。飛行機の主部などの高強度複合材構造体を製造するためには、繊維は好ましくは3500MPa（又は500ksi）の引張強さを有する。

### 【0026】

サブプリフォームブランクを形成するために、バインダー組成物が各繊維質層（例えば一方向繊維の層）に塗布されてもよく、その後、バインダーで処理された複数の繊維質層が積層により組み立てられる。バインダーは、繊維質層の積層の前または最中に繊維質層に塗布されてもよい。繊維質層の組立は、ハンドレイアップ法若しくは自動積層法（自動テープ積層（ATL）及び自動繊維積層（AFP）など）、又は幅広い良好なあるいは予め準備された形態での繊維若しくはプライを堆積する他の自動化方法によって行うことができる。繊維質層の積層体は、その後熱及び圧力をかけることにより互いに積層される。

### 【0027】

いくつかの実施形態においては、サブプリフォームは、望ましい積層構成及び最終的なプリフォームのレイアップの中に0°（0度）の方向に配向するプライの数に従って分割される。2つ以上の可撓性ダイアフラムが、サブプリフォームを互いから分けるように配置され、各サブプリフォームのために、別個の密閉された閉空間を規定する。その後、隣接するダイアフラム間の圧力を制御することにより、同じ加熱サイクル中に別個にかつ連続的に個々のサブプリフォームを成形することができ、それにより望ましくない皺の生成が防止され、また成形されたプリフォームを製造するための従来の多段階工程プロセスと比較してプロセス効率が増加する。

### 【0028】

いくつかの実施形態においては、各サブプリフォームは、連続した一方向繊維の複数のプライを含み、各プライは隣接するプライに対して異なる角度で配向している。各サブプリフォーム中のプライの数は2～30であってもよい。いくつかの実施形態においては、各サブプリフォームは、例えば1～10プライなどの、限られた数の0度（0°）のプライを含む。0°のプライとは、レイアップの長さ又は縦軸と平行に配向している一方向繊維を有するプライのことをいう。

### 【0029】

#### バインダー

サブプリフォーム中の繊維質層を結合させるためのバインダーは、粉末、液体、ペースト、フィルム、繊維、及び不織布などの様々な形態であってもよい。バインダー材料は、熱可塑性ポリマー、熱硬化性樹脂、及びこれらの混合物から選択されてもよい。特定の実施

10

20

30

40

50

形態においては、バインダーは、熱可塑性材料、又は熱硬化性材料、又は熱可塑性材料と熱硬化性材料とのブレンド物から形成された高分子繊維の形態をとっていてもよい。

【0030】

ある実施形態においては、サブプリフォーム中のバインダーは、周囲温度（20 ~ 25）で固体高分子材料である。加熱されると、バインダーは熔融状態へと転移し、サブプリフォームを軟らかくして成形することが可能になる。形状に成形する温度はバインダーの特性によって決定され、望ましくない繊維のねじれ又は皺が形成されないようにするために、形状成形工程中にこれらが互いにすり抜けるように隣接する繊維プライの間の摩擦を最小限にするために最適化することができる。特に好適なバインダーは、米国特許第8,927,662号明細書に記載されている熱可塑性エポキシバインダーである。このバインダーは、エポキシ樹脂と熱可塑性ポリマーとのブレンド物を含み、粉末形態で繊維質層に塗布することができる。

10

【0031】

別の好適なバインダーは、米国特許出願公開第2014/0179187号明細書に記載の液体バインダー組成物であり、これは乾燥繊維質層の上に塗布（例えば噴霧により）することができ、その後溶媒を除去するために乾燥される。

【0032】

フィルム形態で設けられる場合、バインダー樹脂組成物は、フィルムを形成するために剥離紙の上に成膜（例えばキャストにより）され、これがその後繊維質層に移動されてもよい。そのようなバインダーフィルムは、サブプリフォームの繊維質層の間に挿入される。

20

【0033】

別の実施形態においては、バインダーは熱可塑性繊維（すなわち熱可塑性材料から形成された繊維）と熱硬化性繊維（すなわち熱硬化性材料から形成された繊維）との混合物である。そのような高分子繊維は、隣接している繊維層間に挿入するために、ランダムに配向している高分子繊維からなる不織布としてサブプリフォームの中に組み込まれてもよい。そのような不織布は、繊維質層間を接着するために加熱により軟らかくすることができる。例えば、米国特許第8,703,630号明細書に開示されている樹脂可溶性熱可塑性布が好適であろう。

【0034】

バインダーの合計量は、バインダー処理されたサブプリフォームが多孔性のままであり且つ樹脂注入法において使用される液体樹脂を透過させるように十分に少ない。例えば、サブプリフォーム中のバインダー材料の合計量は、サブプリフォームの総重量基準で約20重量%以下、例えば約0.1~約15重量%、いくつかの実施形態においては0.5重量%~10重量%であってもよい。

30

【0035】

プリプレグレイアップ

本明細書に開示の熱ドレーブ成形法は、あらかじめ硬化性樹脂で含浸されたものであるプリプレグプライの組立体に適用することもできる。各プリプレグプライは、硬化性樹脂の中に含浸されたあるいは埋め込まれた強化繊維の層からなる。強化繊維の層は、連続的な一方向繊維又は織物の形態であってもよい。プリプレグの全体の複合材レイアップはサブグループに分割することができ、各サブグループは、サブプリフォームの場合のように2つ以上のプリプレグプライからなる。プリプレグプライは、サブプリフォーム及びプリフォームのための上述したような異なる方向に配向している一方向繊維を含んでいてもよい。その後、サブグループは上述の通りに連続的に成形される。この場合、加熱はプリプレグプライ中の硬化性樹脂を軟らかくしてプリプレグプライの成形を可能にするのに十分な温度で行われるが、温度はマトリックス樹脂の完全な硬化を生じさせるのに十分なほどには高くない。

40

50

【図面】

【図 1】

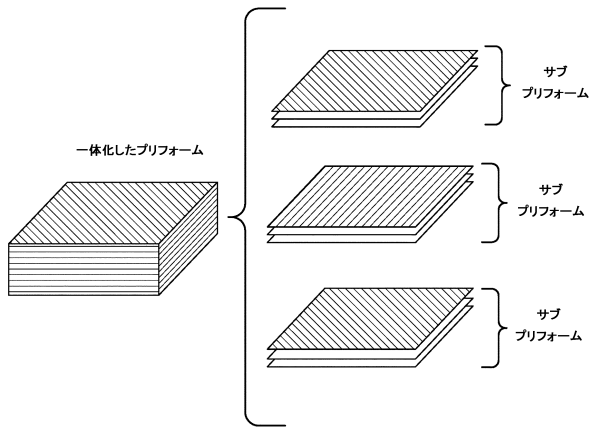
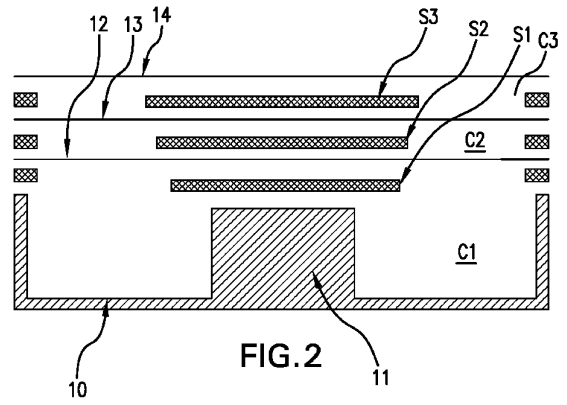


図 1

【図 2】



10

20

【図 3】

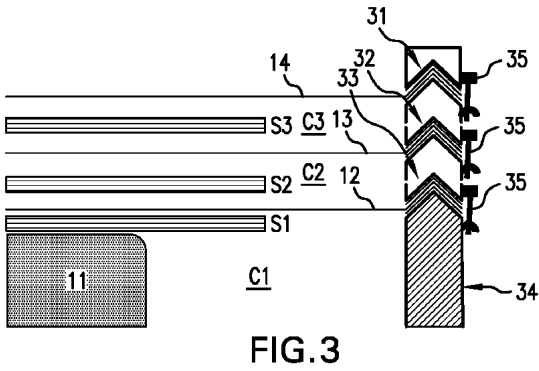


FIG. 3

【図 4】

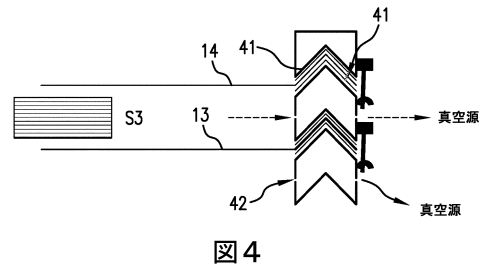


図 4

30

40

50

【図5】

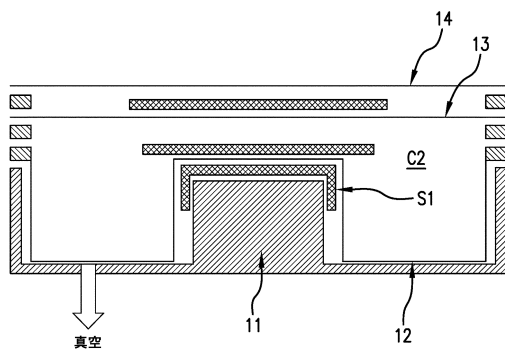


図5

【図6】

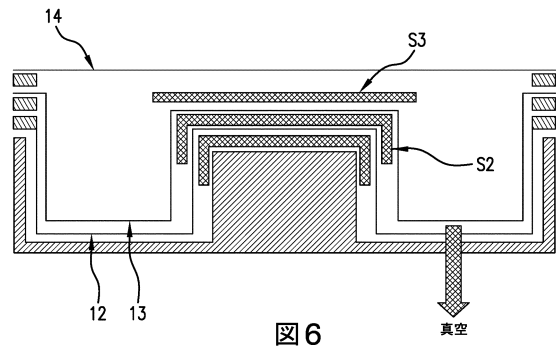


図6

10

【図7】

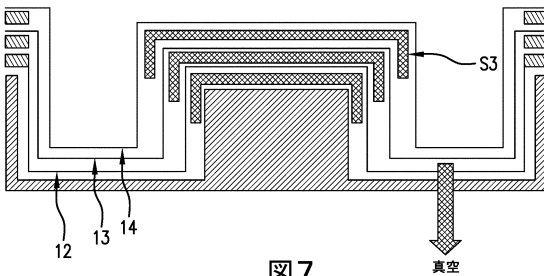


図7

【図8】

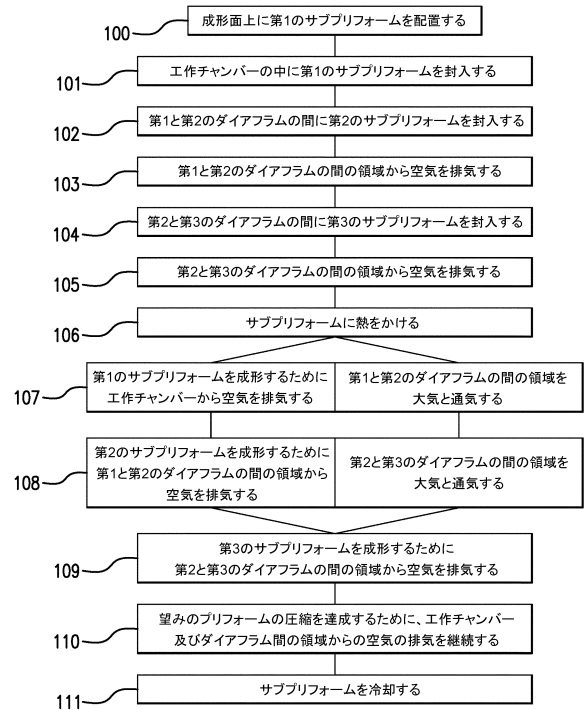


図8

20

30

40

50

---

フロントページの続き

ト ガーデنز 4

審査官 田代 吉成

- (56)参考文献 特開 2 0 0 9 - 2 2 0 3 9 2 ( J P , A )  
特表 2 0 1 6 - 5 0 3 0 9 8 ( J P , A )  
特表 2 0 1 0 - 5 2 9 9 2 2 ( J P , A )  
特表 2 0 0 8 - 5 4 0 7 6 6 ( J P , A )  
米国特許出願公開第 2 0 0 9 / 0 0 0 8 8 3 6 ( U S , A 1 )
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- B 2 9 C 5 3 / 0 4  
C 0 8 J 5 / 2 4  
B 2 9 C 5 3 / 8 4  
B 2 9 C 7 0 / 3 0