

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4761954号
(P4761954)

(45) 発行日 平成23年8月31日(2011.8.31)

(24) 登録日 平成23年6月17日(2011.6.17)

(51) Int.Cl.	F 1
B29C 39/26 (2006.01)	B29C 39/26
B29C 39/22 (2006.01)	B29C 39/22
B29C 39/10 (2006.01)	B29C 39/10
B29C 43/36 (2006.01)	B29C 43/36
B29K 105/08 (2006.01)	B29K 105:08

請求項の数 9 (全 21 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2005-365709 (P2005-365709)
(22) 出願日	平成17年12月20日 (2005.12.20)
(65) 公開番号	特開2006-175866 (P2006-175866A)
(43) 公開日	平成18年7月6日 (2006.7.6)
審査請求日	平成20年12月18日 (2008.12.18)
(31) 優先権主張番号	11/021,893
(32) 優先日	平成16年12月22日 (2004.12.22)
(33) 優先権主張国	米国(US)

(73) 特許権者	390041542 ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ クタディ、リバーロード、1番
(74) 代理人	100137545 弁理士 荒川 智志
(74) 代理人	100105588 弁理士 小倉 博
(74) 代理人	100129779 弁理士 黒川 俊久
(72) 発明者	リー・アラン・プラントン アメリカ合衆国、オハイオ州、シンシナテ ィ、フルシャー・レーン、6166番

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】強化マトリクス複合材部品を形成するための型ツール

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ガスタービンエンジン用の強化マトリクス複合材部品を形成するための型ツール(100)であって、この型ツールは、

第1の端部と、第2の端部と、複合材プリフォーム(301)の第1の部分を収容できる本体表面とを備える本体(105)と、

前記本体(105)の第1の端部に解除可能に固定され、前記本体表面に垂直に配置された実質的に平面の表面を有する第1のエンドプレート(101)と、

前記本体(105)の第2の端部に取り付けられ、前記本体表面に垂直な実質的に平面の表面を有する第2のエンドプレート(103)と、

前記第1のエンドプレート(101)の第1の表面に取り付けられ、前記本体表面に隣接して配置される少なくとも1つの第1のプレート(107、119)を備えるプレート(107)の第1のセット(119)と、

前記第2のエンドプレート(103)の第1の表面に取り付けられ、前記本体(105)表面に隣接して配置される少なくとも1つの第2のプレート(107、121)を備えるプレートの第2のセット(107、121)とを具備し、

前記第1のプレート(107、119)及び前記第2のプレート(107、121)は解除可能に固定されていると共に、実質的に平面の第1のプレート(107、119)表面と実質的に平面の第2のプレート(107、119)表面とを備えており、

前記第1のプレート(107、119)及び前記第1のエンドプレート(101)は、前

10

20

記第1のプレート(107、119)及び前記第1のエンドプレート(101)によって境界が定められた第1のキャビティ(203)を含む幾何形状を有し、

前記第2のプレート(107、121)及び前記第2のエンドプレート(103)は、前記第2のプレート(107、121)及び第2のエンドプレート(103)によって境界が定められた第2のキャビティ(203)を含む幾何形状を有し、

前記第1及び第2のキャビティ(203)が、複合材プリフォーム(301)の第2の部分を収容するのに十分な容積を有し、

前記型ツールが更に、前記第1のキャビティと流体連通している真空供給源(117)を具備し、

前記型ツールが更に、

10

前記プレート(107)の第1のセット(119)のうちの第1のプレート間の接合部(108)においてチャンネル(201、403、503)を介して前記第1のキャビティ(203)と、前記プレート(107)の前記第2のセット(121)のうちの第2のプレートの間の接合部(108)内のチャンネル(201、403、503)を介して前記第2のキャビティ(203)とに流体接続された少なくとも1つの管体(113)である、前記第1及び第2のキャビティ(203)の間の少なくとも1つの流体接続部を更に含み、これにより、前記第2のキャビティ(203)が、前記第1のキャビティ(203)に流体接続している

ことを特徴とする型ツール(100)。

【請求項2】

20

前記本体(105)が、第1の軸に沿って延びる表面と、第2の軸に沿って延びる前記第1のキャビティ(203)と、第3の軸に沿って延びる前記第2のキャビティ(203)とを有し、前記第1の軸が前記第2及び第3の軸に実質的に垂直であることを特徴とする請求項1に記載の型ツール(100)。

【請求項3】

前記本体表面の前記幾何形状が、実質的に円筒型であることを特徴とする請求項1に記載の型ツール(100)。

【請求項4】

前記実質的に円筒型の本体表面が、前記第2のエンドプレートに隣接する断面直径よりも大きな前記第1のエンドプレートに隣接する断面直径を含むことを特徴とする請求項3に記載の型ツール(100)。

30

【請求項5】

前記実質的に円筒型の本体(105)表面の幾何形状が、前記第1(101)及び第2(103)のエンドプレートの間の中間点での断面直径よりも大きい、前記第1(101)及び第2(103)のエンドプレートに隣接する断面直径を含むことを特徴とする請求項3に記載の型ツール(100)。

【請求項6】

前記第1(101)及び第2(103)のエンドプレートが前記本体(105)表面の円筒部分に取り付けられてスプール形状を形成し、前記プレート(107)の第1(119)及び第2(121)のセットが、前記第1(101)及び第2(103)のエンドプレートに隣接する前記本体表面の周りに円周方向で配列されていることを特徴とする請求項3に記載の型ツール(100)。

40

【請求項7】

前記第1のキャビティ(203)及び第2のキャビティ(203)が実質的にリングの形状であることを特徴とする請求項3に記載の型ツール(100)。

【請求項8】

前記第1のエンドプレート(101)の第2の表面上に位置付けられ、前記第1のキャビティ(203)と流体連通するマトリクス材料リザーバ(109)を更に含むことを特徴とする請求項1に記載の型ツール(101)。

【請求項9】

50

前記マトリクス材料リザーバ(109)及び前記第2のキャビティ(203)と流体連通する管体(113)を更に含み、前記第1及び第2のキャビティ(203)間の流体連通が前記マトリクス材料リザーバ(109)を通過していることを特徴とする請求項8に記載の型ツール。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複合材料を作製する装置に関する。特に、本発明は、強化マトリクス複合材料を作製する装置を含む。

【背景技術】

【0002】

航空機の燃料効率及び推進能力を増大させるために、航空エンジン設計では、更に軽量の材料を有する航空機エンジンの構成要素を絶えず求めている。これまで航空機構成要素はスチールで作られていた。しかしながら、スチールは比較的重いので、アルミニウム又はチタンなどの軽量の高強度材料に置き換えてきた。軽量部品の製造が更に進展して、ポリイミド樹脂内に埋め込まれたグラファイト繊維を含む複合材のような非金属材料の出現を生じることとなった。複合材料は、マトリクス材料の内部に埋め込まれた繊維を含む材料である。繊維は、マトリクス材料に強化をもたらす。一般に、マトリクス内に埋め込まれる前の繊維構造体は、プリフォーム(予備成形物)と呼ばれる。ポリイミド樹脂内部に埋め込まれたグラファイト繊維には、材料を部品に成形するのが困難であること、スペース率が高いこと、微小亀裂発生、層間剥離、及び設備及び工程が高価であることを含む欠陥がある。

【0003】

ガスタービンエンジンで用いる複合材ファンダクトは、高強度フランジを有し、且つ皺及び起伏が実質的でない複合材料を備えることが必要である。

【0004】

グラファイト・エポキシ複合材のファンダクトは、Prattに付与された米国特許第5,145,621号(621号特許)に開示されたクロスオーバーツールを用いて製造されており、該特許は全体が引用により本明細書に組み込まれる。621号特許において、織ったグラファイト繊維プリフォームが大型のスプールに取り付けられ、グラファイト・エポキシ複合材ファンダクトが形成される。繊維はスプールの片側端部でフランジを提供するように位置する。スプールの形状は、完成した複合材の最終形状を実質的に定める。クロスオーバーツールは、スプール上のグラファイトの繊維を引っ張り、張力を与える。該ツールは、繊維のフランジ部分を囲み、3つの独立した真空エンベロープと組み合わされたときに圧力を与える複合スパイダーツールの使用によって繊維を引っ張る。クロスオーバーツール及び621号特許で開示された方法の欠点には、工程が複雑であること及び使用が困難な高価なツールであることが含まれる。

【0005】

グラファイト・エポキシ複合材ファンケースはまた、製造中に強化材料のプライに力を与えるのを助けるエラストマー材料を用いた成形システムを使用して製造されており、このことは、全体が引用によって本明細書に組み込まれる、Desautels他に付与された米国特許第5,597,435号(435号特許)で開示されている。複合マトリクスを生成するために、未硬化の繊維強化されたプレプレッジ型プライ(いわゆるプライ)が型に取り付けられる。プレプレッジ・プライは、型に取り付けられる前に、未硬化マトリクス材料が含浸されるプライである。フォーシング部材及び拘束部材が、プライの上に置かれ、該プライが定位置に保持される。フォーシング部材は、拘束部材と型上のプライとの間に置かれる。型、プライ、拘束部材、及びフォーシング部材は、炉内に置かれて加熱される。組立体が加熱されると、フォーシング部材が均一に膨張し、均一な圧力がプライに印加される。その結果、温度が上昇するにつれてプライが圧密されることになる。435号特許のプロセスには、材料を縮小させるのみであり、完成した複合材に高強度及び

10

20

30

40

50

均一性をもたらす纖維配向を与えるために纖維を引き締めることができないといった欠点がある。

【0006】

強化纖維プリフォーム内にマトリクス材料を含浸させるための最近の方法は、プリフォームの全て又は大部分を覆うように強化纖維プリフォームの層の上又はその内部にマトリクス材料フィルムの1つ又は複数の層を配置することを含む。全体のプリフォームは、加熱樹脂注入フェーズの間に、マトリクス材料が溶融してプリフォームの厚みを通って流れ、該プリフォームを含浸するように被覆される。この含浸は、樹脂フィルムの単層又は多層を用いて行われる。樹脂フィルムは、強化纖維プリフォームの全体の表面上に塗布される。或いは、マトリクス材料をプリフォームの層の間に差しこみ、強化纖維プリフォームの層の全てを覆うことができる。プリフォーム上の樹脂層の完全被覆は、空気、マトリクス材料からの揮発性材料、及び空隙（すなわちスペース）を形成する可能性のある他のガスを取り込み、該空隙は、硬化部品の本体内に好ましくない多孔質を形成する恐れがある。多孔質は、部品特徴部又はその近傍にある複雑な部品においてとりわけ好ましくない。特徴部は、部品の平面区域から伸びる複合材料の一部を含む。特徴部の実施例には、ガスタービンエンジン部品での補強材の区域又は挿入部がある。硬化した強化マトリクス複合材におけるスペースから生じる多孔質は、部品の機械的特性を低下させる可能性があり、且つピッティングのような許容できない表面特徴を生成する可能性がある。強化纖維プリフォームの完全な被覆は、樹脂がプリフォームの表面積全体上に塗布されなければならないので、該方法は実施が困難であり且つ施工に有意な時間を必要とするといった追加の欠点がある。

10

20

【特許文献1】米国特許第5,145,621号公報

【特許文献2】米国特許第5,597,435号公報

【特許文献3】米国特許第6,280,550B1号公報

【特許文献4】米国特許第6,315,520B1号公報

【特許文献5】米国特許第6,383,960B1号公報

【特許文献6】米国特許第6,409,875B1号公報

【特許文献7】米国特許第6,537,470B1号公報

【特許文献8】米国特許第6,562,269B2号公報

【特許文献9】米国特許第6,565,792B2号公報

30

【特許文献10】米国特許第6,620,369B1号公報

【特許文献11】米国特許第6,627,019B2号公報

【特許文献12】米国特許第6,638,883B2号公報

【特許文献13】米国特許第6,660,208B2号公報

【特許文献14】米国特許第6,699,419B1号公報

【特許文献15】米国特許第6,752,961B2号公報

【特許文献16】米国特許第6,756,112B1号公報

【特許文献17】米国特許第6,780,462B2号公報

【特許文献18】米国特許第6,802,931B2号公報

【特許文献19】米国特許第6,803,090B2号公報

40

【特許文献20】米国特許第H1779号公報

【特許文献21】米国特許公開第2004/0140587A1号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明は、従来技術の欠点の無い纖維強化マトリクス複合材を形成する方法及びツールを提供することによって、従来技術の問題点を解決する。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、本体を含む、ガスタービンエンジンの強化マトリクス複合材部品を形成する

50

ための型ツールである。本体は、第1の端部と、第2の端部と、複合材プリフォームの第1の部分を収容できる本体表面とを備える。第1のエンドプレートが、本体の第1の端部に取り出し可能に固定され、本体表面に垂直に配置された実質的に平面の表面を有する。第2のエンドプレートが、本体の第2の端部に取り付けられ、本体表面に垂直な実質的に平面の表面を有する。プレートの第1のセットが、第1のエンドプレートの第1の表面に取り付けられる。プレートの第1のセットは、本体表面に隣接して配置された少なくとも1つの第1のプレートを備える。プレートの第2のセットが、第2のエンドプレートの第1の表面に取り付けられる。プレートの第2のセットは、本体表面に隣接する少なくとも1つの第2のプレートを備える。第1のプレート及び第2のプレートは、取り出し可能に固定され、実質的に平面の第1のプレート表面及び実質的に平面の第2のプレート表面を備える。第1のプレート及び第1のエンドプレートは、第1のプレート及び第1のエンドプレートによって境界が定められた第1のキャビティを含む幾何形状を有する。第2のプレート及び第2のエンドプレートは、第1のプレート及び第2のエンドプレートによって境界が定められた第2のキャビティを含む幾何形状を有する。

第1及び第2のキャビティは、複合材プリフォームの第2の部分を受けるに十分な容積を有する。この第2のキャビティは第1のキャビティに連通しており、第1のキャビティは真空源に連通している。

【 0 0 0 9 】

本発明の方法及びツールは、ファンケーシングのような複合材格納ダクトとして使用するのに適切な軽量強化マトリクス複合材料を形成し、該複合材料は高い強度及び均一性を有する。

【 0 0 1 0 】

本発明の方法は、ガスタービンエンジン用のエーロフォイル構成要素の作製に特に好適である。詳細には、本発明の方法は、ファンケーシングのような複合材格納ダクトの作製に好適である。本発明の利点は、本発明によって運転中のガスタービンエンジンから離脱したファンブレードを収容できる複合材格納ダクトの作製が可能となることである。

【 0 0 1 1 】

本発明の方法及びツールは、直径約10フィートの部品を含む、直径が約5フィートより大きい円筒型部品を含む大型複合材部品の作製に特に適切である。本発明の利点は、その方法及びツールが、大型の複合材ファンケーシングのような大型部品を作製できることであり、格納特性、軽量性、高強度、及び部品全体にわたる実質的な均一性が維持される。

【 0 0 1 2 】

本発明の方法及びツールは、取り付け前に最終仕上げを行う必要が殆ど又は全くない完成製品の形状を有する纖維強化マトリクス複合材を製造する方法を提供する。本発明の利点は、そのツール及び方法が、取り付け及び使用の前の付加段階が殆どないか全く必要としない部品を作製することである。付加段階の削減又は排除は、作製のコストを低減し、時間を短縮する。

【 0 0 1 3 】

本発明の方法及びツールは、高度に均一な組成を有し、多孔質又は皺などの欠陥の少ない纖維強化マトリクス複合材を製造する方法を提供する。均一な組成及び欠陥が少ないとにより、廃棄及び/又は補修部品を少なくすることができる。廃棄及び/又は補修部品が少ないとにより、大型の複合材部品を含む複合材部品の作製を低成本で行うことが可能となる。

【 0 0 1 4 】

本発明の方法及びツールは、簡素で安価な設備を用いて纖維強化マトリクス複合材を製造する方法を提供する。加えて、ツールからの部品の取り出しが、ツールの更に分解することを殆ど又は全く必要としない。本発明の利点は、装置が安価であり、部品の作製中に高コストの組立及び分解を必要としないので、纖維強化複合材格納ダクトを作製するのに要する設備費及び人件費が削減されることである。

10

20

30

40

50

【0015】

本発明の方法及びツールは、工程が単一の真空エンベロープを必要とするだけの、繊維強化マトリクス複合材を製造する方法を提供する。本発明の利点は、このツール及び方法が、複数の真空エンベロープを用いるのではなく、必要な格納と繊維強化複合材格納ダクトを作製するのに要する力を単一の真空エンベロープが提供できる点である。単一エンベロープの使用は、複数エンベロープよりも実質的に均一な真空印加を可能にし、且つ必要な組立及び分解が少ない。

【0016】

本発明の他の特徴及び利点は、本発明の原理を例証として示す添付図面を参照して、好みしい実施形態の以下のより詳細な説明から理解されることになる。

10

【発明を実施するための最良の形態】**【0017】**

図1は、本発明による複合材ダクト形成用ツール100を示す。ツール100は、実質的に円筒型の本体105を含む。第1のエンドプレート101及び第2のエンドプレート103は、本体105の対向する平面端部に隣接して位置付けられる。本体105並びに第1及び第2のエンドプレート101及び103は、ツール100によって保持されるワークピースよりも大きな熱膨張係数を有する材料で作製される。本体105並びに第1及び第2のエンドプレート101及び103用の材料には、限定ではないが、金属又は合金が含まれる。本体105用の適切な材料は、アルミニウム及びスチールを含む。第1のエンドプレート101は、応力緩和ファスナ111を用いて本体105に固定される。本体105に隣接する第2のエンドプレート101は、本体105に取り付けられる。本体105は、実質的に円筒型の幾何形状を有する。実質的に円筒型の本体105は、第1のエンドプレート101に隣接する小さな直径から第2のエンドプレート103の大きな直径まで先細とされるのが好みしい。図1には円筒型本体100が示されているが、本体は円筒型の形状には限定されない。本体の別の幾何形状には、限定ではないが、矩形、橢円、及び三角形の幾何形状が含まれる。代替の実施形態において、本体105は、第1及び第2のエンドプレート101及び103の間の中間点で小さい直径であり、本体105の端部の各々で大きな直径を備えた、実質的に円筒型の幾何形状を有する。本体105は、完成した強化マトリクス複合材部品の取り出しを容易にするために、複数の取り出し可能な部片の状態で作製することができる。

20

【0018】

図1は、第2のエンドプレート103に最も近接した第1のエンドプレート101の表面上で、本体105の周りを円周方向で第1のエンドプレート101に隣接して位置付けられたフランジシューの第1のセット119を示す。フランジシューの第2のセット107は、第1のエンドプレート101に最も近接した第2のエンドプレート103の表面上で本体105の周りに円周方向で第2のエンドプレート103に隣接して位置付けられる。フランジシューの第1及び第2のセット119及び121の各々のフランジシュー107は、フランジシュー接合部108で互いに接触する。フランジシュー107は、ツールによって保持されるワークピースよりも大きな熱膨張係数を有する材料で作製されたプレートである。フランジシュー107用の材料には、限定ではないが、金属又は合金が含まれる。フランジシュー107用の材料は、アルミニウム及びスチールを含む。フランジシュー107は、第1及び第2のエンドプレート101及び103に応力緩和ファスナ111を用いて固定される。第1及び第2のエンドプレート101及び103の固定に加え、応力緩和ファスナ111もまた、第1のエンドプレート101を本体105に固定する。図1に示されるように、フランジシュー107を固定する応力緩和ファスナ111は、第1及び第2のエンドプレート101及び103を通り、更にフランジシュー107を通じて延びる。第1のエンドプレート101を本体105に固定する応力緩和ファスナ111は、第1のエンドプレート101を通じて本体105内に延びる。本発明に従えば、応力緩和ファスナ111は、第1のエンドプレート101と第1及び第2のフランジシューセット119及び121のフランジシュー107とを、ワークピースが装荷される際に位置

30

40

50

決めすることができる何らかのファスナであるが、熱膨張に基づく圧力又は他の力に降伏する。応力緩和は、フランジシュー 107 を保持するファスナが適切な半径方向応力のもとで降伏し、エンドフランジプレートを保持するファスナが降伏して軸方向応力を軽減するときに生じる。応力緩和ファスナ 111 用の適切な材料には、限定ではないがナイロンがある。1つ又はそれ以上のリザーバ 109 が、第1のエンドプレート 101 の表面上に設置される。リザーバ 109 は、真空ライン 115 を介して真空供給源に流体連通する。リザーバ 109 は、別個の構成要素として示されているが、第1のエンドプレート 101 と一緒に製造してもよい。

【0019】

図2は、第1及び第2のエンドプレート 101 及び 103 が図面上で水平方向に向いた状態に配向されたツール 100 の1つの実施形態を示す。図2に示された配向は、第1のエンドプレート 101 が第2のエンドプレート 103 の上方で実質的に水平方向に向き、本体 105 の中心軸が実質的に垂直方向に向いた状態で、ツール 100 がオートクレープ内に装荷される、本発明の実施形態を示す。この実施形態はオートクレープに言及しているが、ツールを加熱し且つ圧力を供給する能力を有するどのようなチャンバも本発明で使用するのに好適である。図2は、本体 105 の周りに円周方向で配列されたフランジシュー 107 を示す。フランジシューの第1のセット 119 は、第2のエンドプレート 103 に最も近接した表面上で第1のエンドプレート 101 に固定される。フランジシューの第2のセット 121 は、第1のエンドプレート 101 に最も近接した表面上で第2のエンドプレート 103 に固定される。

10

20

【0020】

チャンネル 201 が、第2のエンドプレート 103 に隣接した表面に沿った個々のフランジシュー 107 間のフランジシュー接合部 108 で機械加工されて、本体 105 に隣接する内側表面 205 からフランジシュー接合部 108 の外周まで流体接続が形成される。フランジシュー接合部 108 の外周にサイホン管 113 が取り付けられ、第2のエンドプレート 103 に隣接したチャンネル 201 と流体接続で配置される。サイホン管 113 は、第1のエンドプレート 101 に隣接したリザーバ 109 と流体接続する。各リザーバ 109 は、真空下でマトリクス材料を収容できる中空チャンバである。各リザーバ 109 は、フランジシュー 107 、第1のエンドプレート 101 の下方表面、及び本体 105 の内側表面 205 によって定められるキャビティ 203 と流体接続する。キャビティ 203 は、ワーカピースの一部分（図3 - 図5に纖維布地 301 として示される）が十分挿入できる容積のものである。ワーカピースは、好ましくは、強化纖維布地の一部分である。リザーバ 109 はまた、真空ライン 115 を介して真空供給源 117 に流体接続する。真空供給源 117 は、リザーバ 109 に真空を供給し、リザーバ 109 内の材料を真空引きする。

30

【0021】

図3は、図2の矢視 3 - 3 を表す断面図を示す。図3に示す断面は、第1のエンドプレート 101 の一部の拡大図を提供し、第1のエンドプレート 101 は図面における垂直方向に配向されている。第1のエンドプレート 101 及び本体 105 には、纖維布地プリフォーム 301 が装荷される。纖維布地プリフォーム 301 は、本体 105 から第1のエンドプレート 101 に沿って延びるフランジ部分 305 を含む。フランジシュー 107 は、応力緩和ファスナ 111 を用いて第1のエンドプレート 101 に固定される。同様に、第1のエンドプレート 101 は、応力緩和ファスナ 111 を用いて本体 105 に固定される。

40

【0022】

図3は、フランジシュー 107 と第1のエンドプレート 101 と本体 105 の内側表面 205 とによって定められるキャビティ 203 内で本体 105 に沿って位置付けられ、且つ約 90° の角度にされてフランジ形状を形成する纖維布地プリフォーム 301 を示す。フランジシュー 107 と第1のエンドプレート 101 と本体 105 とによって定められるキャビティ 203 は、マトリクス材料分配チャンネル 303 を介してリザーバ 109 と流

50

体連通する。リザーバ 109 は、少なくとも 1 つの真空ライン 115 及び少なくとも 1 つのサイホン管 113 と流体連通する。

【0023】

図 4 は、図 2 の矢視 3 - 3 を表す断面図を示す。該断面図は、図 3 と同様の本体 105、フランジシュー 107、纖維布地プリフォーム 301、及び第 1 のエンドプレート 101 の構成を有する、複合材ダクト形成ツール 100 の一部分を示す。しかしながら、図 4 に示された実施形態は、フランジシュー 107 のサイホン管凹部 401 内に挿入されたサイホン管 113 を有する。サイホン管 113 は、マトリクス材料分配チャンネル 403 と流体連通する。マトリクス材料分配チャンネル 403 は、サイホン管 113 からフランジシュー 107 と第 1 のエンドプレート 101 と本体 105 の内側表面 205 とによって定められるキャビティ 203 まで延びる。フランジシュー 107 と第 1 のエンドプレート 101 と本体 105 の内側表面 205 とによって定められるキャビティ 203 は、リザーバチャンネル 405 を介してリザーバ 109 と流体連通する。リザーバ 109 は、真空ライン 115 を介して真空供給源 117 と流体連通する。
10

【0024】

図 5 は、図 2 の矢視 5 - 5 を表す断面図を示す。図 5 に示された断面は、図面では垂直方向に配向され、纖維布地プリフォーム 301 のワークピースが装荷された第 2 のエンドプレート 103 の一部の拡大図を提供する。図 5 はまた、応力緩和ファスナ 111 を用いて第 2 のエンドプレート 103 に固定されたフランジシュー 107 を示す。第 2 のエンドプレート 103 は、第 2 のエンドプレートファスナ 505 によって本体 105 に固定される。第 2 のエンドプレートファスナ 505 は、圧力下で応力緩和ファスナ 111 のようには降伏しないファスナである。第 2 のエンドプレートファスナ 505 は、ツール 100 によって発生する応力下で降伏しないどのようなファスナであってもよい。代替の実施形態において、第 2 のエンドプレート 103 と本体 105 は、恒久的に取り付けることができ、或いは機械加工による一体部品であってもよい。この実施形態においては、第 2 のエンドプレート 103 は、本体 105 と一体化され、該第 2 のエンドプレート 103 から延びる本体 105 を有する一体部品として機械加工又は鋳造することができる。或いは、本体 105 及び第 2 のエンドプレート 103 は、一緒に溶接することができる。
20

【0025】

図 5 に示された実施形態は、フランジシュー 107 のサイホン管凹部 501 内に挿入されたサイホン管 113 を有する。サイホン管 113 は、マトリクス材料排出チャンネル 503 と流体連通する。マトリクス材料分配チャンネル 503 は、サイホン管から、フランジシュー 107 と第 2 のエンドプレート 103 と本体 105 の内側表面 205 とによって定められるキャビティ 203 まで延びる。
30

【0026】

図 6 - 図 9 は、複合材に形成されることになるワークピース 301 及びマトリクス材料 601 が装荷された、本発明による複合材ダクト形成ツール 100 を示す。図 6 - 図 9 には、マトリクス材料の浸透及び硬化工程における種々のステージが示される。図 6 は、オートクレーブ（図示せず）内に装荷される前のツール 100 を示す。図 7 及び図 8 は、加熱中のツール 100 を示す。図 9 は、オートクレーブの圧力下でのツール 100 を示す。
40
図 6 - 図 9 は、図 1 及び図 2 に示されたツール 100 の本体 105 の円筒部分の中心軸から半径方向で見たときの断面を示す。図 6 - 図 9 には、図 1 及び図 2 に示すように配置された本体 105、第 1 のエンドプレート 101、第 2 のエンドプレート 103、及びフランジシュー 107 を有するツール 100 が示される。説明の目的で、図 6 - 図 9 には、応力緩和ファスナ 111 及び 505、サイホン管 113、リザーバ 109、真空ライン 115、マトリクス材料排出チャンネル 503 もしくはマトリクス材料分配及び真空チャンネル 303、403 及び 405 は示されていない。上述の要素の各々は、オートクレーブ内に装荷されるツール 100 内、並びにツール 100 を囲む真空メンブラン又はバッグ 605 内に存在する点に留意されたい。
50

【0027】

図6は、オートクレーブ内に装荷される前のツール100を示す。ツール100には、纖維布地プリフォーム301が最初に装荷される。纖維布地プリフォーム301では、その表面上にマトリクス材料601の層が被覆される。マトリクス材料601は、好ましくは、個別部分に計り分けたバルク樹脂である。バルク樹脂は、最終形状（例えばシート又はライ）に加工されていない未硬化樹脂であり、個別部分に分離することができる。室温では、バルク樹脂は柔軟な固体であるのが好ましい。バルク樹脂は、実質的に矩形の部分に分離され、纖維布地プリフォーム301の表面上に置かれる。纖維布地プリフォーム301の表面に樹脂を与えるどのような形状の部分も本発明での使用に好適である点に留意されたい。該部分が纖維布地プリフォーム301上に置かれた後、矩形部分が表面形状に一致するようにされる。矩形部分は、室温で柔軟であることが好ましい。バルク樹脂の矩形区分は、樹脂の柔軟性を高めるために任意選択的に予熱を加え、矩形部分を表面形状に一致させるのを助けることができる。適切な樹脂としては、限定ではないが、エポキシ又はポリアミド樹脂を含むことができる。マトリクス材料601は、より多くの量のマトリクス材料601（すなわち単位表面積当たりより多くの量のマトリクス材料）が、纖維布地プリフォーム301の中央部607（すなわち第1及び第2のエンドプレート101及び103の中間点）に被覆され、より少ない量（すなわち単位表面積当たりより少ない量のマトリクス材料）が纖維布地プリフォーム301の縁部609（すなわち第1及び第2のエンドプレート101及び103に隣接した区域）に被覆されるように、纖維布地プリフォーム301の表面に被覆される。この実施形態はバルク樹脂に言及しているが、強化マトリクス複合材を形成できるどのようなマトリクス材料を本発明に使用してもよい。

【0028】

ツール100にマトリクス材料601が装荷された後、エラストマー・カウル603が、マトリクス材料601で被覆された纖維布地プリフォーム301上に置かれる。カウル603は、マトリクス材料601の経路に対する障壁となる材料で形成される。カウル603用の適切な材料には、限定ではないが、シリコーンが含まれる。マトリクス材料と結合せずに、熱及び圧力に耐えることのできる可撓性のどのような材料もカウル603用の材料として使用することができる。カウル603は、マトリクス材料601が第1及び第2のエンドプレート101及び103に隣接する区域内に纖維布地プリフォーム301に沿ってのみ移動できるように配置され、この場合マトリクス材料601は、図1から5に示すように、マトリクス材料排出チャンネル503又はマトリクス材料分配及び真空チャンネル303、403及び405、サイホン管113、又はリザーバ109に入ることができる。ツール100が装荷されると、該装荷されたツール100は、真空バッグ605内部に置かれる。本発明のツール100は、単一の真空バッグ605だけを必要とする工程で纖維強化マトリクス複合材を製造する方法を提供する。

【0029】

図7には、ツール100と、硬化サイクルの加熱及び保持段階中、熱に曝されたときのマトリクス材料601の移動が示される。マトリクス材料601は、加熱されると液化又は流体化して、纖維布地プリフォーム301への浸透を開始し、部分的な含浸纖維布地プリフォーム701を生成する。マトリクス材料601が液化又は流体化すると、該材料は、纖維布地プリフォーム301の中央部607（すなわち第1及び第2のエンドプレート101及び103の中間点）から矢印703の方向に流動する。液体樹脂となったマトリクス材料601が、纖維布地プリフォーム301の中央部607から外側縁部609に移動すると、スペースを生じる可能性のある空気、マトリクス材料601から分離した揮発性ガス、及び纖維布地プリフォーム301内に取り込まれた不純物又はガスなどの他の物質は、バルクマトリクス材料601が第1及び第2のエンドプレート101及び103に隣接する布地の外側縁部609に向かって流動することによって押し出される。過剰なマトリクス材料601、空気、バルクマトリクス材料601からの揮発性ガス、及びスペースを生じる可能性のある他の物質は、サイホン管113内に流動し、図1-図5に示されるように、リザーバ109内、或いはフランジシュー107と第2のエンドプレート

10

20

30

40

50

101と本体105の内側表面205によって定められるキャビティ203内にマトリクス材料分配チャンネル403を介して吸引される。

【0030】

図8には、ツール100と、硬化サイクルの加熱及び保持段階中、熱に曝されたときの部分含浸纖維布地プリフォーム701とが示される。第1のエンドプレート101、第2のエンドプレート103、本体105、及びフランジシュー107は、部分含浸纖維布地プリフォーム701よりも大きな熱膨張係数を有する材料から作製される。結果として加熱中は、図8に示されるように、第1のエンドプレート101、第2のエンドプレート103、本体105、及びフランジシュー107の各々が、矢印801によって示される全ての方向で膨張する。部分含浸纖維布地プリフォーム701は、本体105と比べて極めて僅かに膨張する。部分含浸纖維布地プリフォーム701に対するツール100の熱膨張量の差は、矢印803によって示される張力を生じ、該張力は部分含浸纖維布地プリフォーム701を引き締めるように作用する。マトリクス材料を硬化させる前に引き締められる纖維布地プリフォーム701は、起伏及び皺が実質的ない高強度の材料を提供する。

【0031】

図9には、硬化サイクルの加熱及び保持段階中に圧力が加わったときのツール100が示されている。フランジシュー107は、第1及び第2のエンドプレート101及び103に平行な平面内で大きな表面積903を備えて作製される。硬化サイクル中にオートクレーブ内の圧力が上昇すると、真空バッグ605及びフランジシュー107表面上の矢印901によって示されるオートクレーブ雰囲気の圧力の力は、フランジシュー107の表面積903だけ増倍される。フランジシュー107の表面は、フランジ状形状を形成する纖維布地プリフォーム701よりも表面積903が大きく、オートクレーブ圧力から大きな位置保持力が加わるようになる。本体105が膨張して纖維布地プリフォーム301を引き締めている間、該圧力により纖維布地プリフォーム701が所定位置に保持される。

【0032】

図10には、纖維強化マトリクス複合材(図示せず)を作製するための本発明によるマトリクス材料分配システム1000が示される。纖維布地プリフォーム1005にマトリクス材料1001が装荷され、纖維布地プリフォーム1005の中央部1019には、縁部1021よりも多くの量のマトリクス材料1001が配置される。

【0033】

本発明に従って纖維強化マトリクス複合材(図示せず)を形成するために、マトリクス材料1001で被覆された纖維布地プリフォーム1000が垂直に取り付けられ、システム1000が真空ライン1007によって真空にされ、且つマトリクス材料1001を粘性にするのに十分な熱が加えられる。纖維布地プリフォーム1005内のマトリクス材料1001の移動は、図10の矢印1015及び1016として示される。最初に、粘性のマトリクス材料1001が、矢印1015及び1016によって示される2つの方向に移動する。マトリクス材料1001が多い部分(矢印1015として示される)は重力(矢印1009)の方向に移動し、少い部分(矢印1010として示される)は真空ライン1007の方向に吸引される。真空ライン1007は、真空供給源1023に流体接続する。

【0034】

重力(矢印1009として示される)の方向に移動するマトリクス材料1001は、収集ウェル1011に集まる。収集ウェル1011は、サイホン管1003を介して分配ウェル1013と流体連通する。分配ウェル1013は、真空ライン1007及び纖維布地プリフォーム1005の上縁部に隣接するチャンバである。マトリクス材料1001は、矢印1017によって示されるように、真空ライン1007からの吸引力によって収集ウェル1011から分配ウェル1013に吸引される。該システムは、自己調節性であり、纖維布地プリフォーム1005材料全体にわたるマトリクス材料1001が、纖維布地プリフォーム1005全体にわたって実質的に均一に分布されるまで継続する。該システムは、マトリクス材料1001が含浸された纖維布地プリフォーム1005の両端の圧力差

10

20

30

40

50

が、サイホン管 1003 の両端の圧力差よりも大きい間は、サイホン管 1003 が収集ウェル 1011 から分配ウェル 1013 までマトリクス材料 1001 を継続して吸引する点において自己調節性である。サイホン管 1003 の両端の圧力が、含浸纖維布地プリフォーム 1005 の両端の圧力に等しくなると、マトリクス材料 1001 は、もはや収集ウェル 1001 から分配ウェル 1013 まで吸引されない。結果として得られたマトリクス含浸纖維布地プリフォーム 1005 は、実質的に均一な分布のマトリクス材料 1001 を含有する。含浸纖維布地プリフォーム 1005 は更に加熱されて、硬化サイクルを完了し、纖維強化マトリクス複合材が生成される。

【0035】

図 11 は、本発明による複合材格納ダクト 1100 を示している。複合材格納ダクト 1100 は、ツール 100 (図 1 - 図 2 を見よ) によって作られた製品である。複合材格納ダクト 1100 は、ダクト本体 1103 及び一体化高強度フランジ 1101 を有する一部品である。加えて、フランジ 1101 内に穴 1105 が機械加工され、ファスナが複合材格納ダクト 1100 を他の本体に取り付けることができるようになる。フランジ 1101 は、複合材格納ダクト 1100 が別の本体に取り付けることができる表面を提供する。別の本体は、第 2 の複合材格納ダクト 1100 を含むことができる。2 つの格納ダクトの取り付けは、長さが付加される利点、及び収束ダクト区域と発散ダクト区域とを有するダクトを生成することができる利点を有する。この実施形態において、複合材格納ダクト 1100 は、一方のフランジのダクト直径が他方のフランジのダクト直径よりも大きい先細のダクト本体 1103 を有する。幾つかの格納ダクト用途においては、収束部及び発散部の両方を有する格納ダクトが望ましい。ある部分では収束し、別の部分では発散する格納ダクト 1100 を形成するために、先細格納ダクト 1100 が、小さい方のダクト直径を有する格納ダクトの端部にあるフランジによって第 2 の実質的に同一の先細格納ダクト 1100 に取り付けられる。小さい方のダクト直径のフランジの取り付けは、結合された格納ダクトの一方の端部から中央部に発散して、結合された格納ダクトの中央部から該結合された格納ダクトの第 2 の端部に発散するダクトを可能にする。該フランジはまた、ガスタービンエンジンの一部分 (図示せず) に固定してもよい。1 つの実施形態において、ガスタービンエンジンのファンブレード (図示せず) が、ファンブレード先端の経路の外周に実質的に沿ったダクト本体 1103 の内部 1107 に位置付けられてファンブレードの格納を可能にするように、フランジをガスタービンエンジンに固定することができる。

【0036】

本発明の 1 つの実施形態は、所要の複合材の形状の表面を有するツール 100 の提供を含む。本発明の 1 つの実施形態において、本体 105 は、実質的に円筒型格納ダクトの形状である。この実施形態において、円筒型ダクトは、好ましくは本体 105 の中心軸に向かって内側に先細となる。完成した強化マトリクス複合材の形状は実質的な円筒形状に限定されない。フランジ付き外側縁部を有するどのような形状も本発明の方法により作製することができる。適切な形状には、実質的に円筒型のダクトに加え、複雑な断面幾何形状 (例えば矩形ダクト、三角ダクト又は橢円ダクト)、フラットパネル、及び壁構造体を有する他の複雑な形状が含まれるが、これに限定されない。更に、本発明のツール 100 及び方法を用いて特徴部を有する壁構造体を形成することができる。同様に、本発明のツール 100 は、完成複合材と実質的に同じ形状の本体 105 を有する。

【0037】

ツール 100 は、熱膨張係数が纖維布地プリフォーム 301 よりも大きい材料で作製される。ツール材料の選択の 1 つの判定基準は、纖維布地プリフォーム 301 に要求される張力の量である。要求される張力が大きい程、より大きなツール材料の熱膨張係数が必要となる。要求される張力が小さい程、より小さなツール材料の熱膨張係数が必要となる。好ましくは、ツール 100 は金属材料で作製される。纖維布地プリフォーム 301 を構成する纖維は、金属材料と比較すると相対的に低い熱膨張係数を有する。従って、ツール 100 が熱に曝されると、ツール材料は、纖維布地プリフォーム 301 の膨張速度よりもはるかに速い速度で膨張する。纖維布地プリフォーム 301 の膨張に対するツール 100 の

10

20

30

40

50

膨張により生成された張力は、纖維布地プリフォーム301を引き締めるように作用して、纖維を実質的に整列させ、起伏及び皺が実質的ない高強度の均一な複合材を生成する。纖維に対するツール100の熱膨張が大きい程、生成される張力が大きくなる。ツール100を作製するための適切な材料には、限定ではないが、アルミニウム及びスチールが含まれる。

【0038】

複合材マトリクス用の強化材料は、好ましくは織られた纖維布地である。該纖維布地は、強化マトリクス複合材を形成できるプリフォームである。様々な纖維が複合材マトリクス材料で用いるのに好適である。纖維は、互いに織られ又はより合わされて複合材プリフォームを形成することができる。本発明の1つの実施形態において、纖維布地プリフォーム301は、ストランド・バンドルの3軸織布である。3軸織布は、軸方向に延びる1つのストランド・バンドルを有し、別のストランド・バンドルが軸方向のバンドルから約+60°に配向され、第3のストランド・バンドルが軸方向のバンドルから約-60°に配向される。纖維布地プリフォーム301を形成するのに好適な纖維には、限定ではないが、カーボン、グラファイト、ガラス及びポリアミドの纖維が含まれる。纖維布地プリフォーム301は好ましくはドライである。ドライとは、纖維布地プリフォーム301がツール100上に装荷される前に、纖維布地内にマトリクス材料が含浸されていないことを意味する。

【0039】

本発明の強化マトリクス複合材に用いるマトリクス材料601は、強化纖維で強化されると高強度マトリクス複合材を形成する硬化性材料である。本発明の強化複合材料に用いる適切なマトリクス材料601には、限定ではないが、エポキシ及びポリイミドが含まれる。

【0040】

本発明のプロセスは、強化マトリクス複合材を形成する材料をツール100に装荷する段階を含む。最初に、ツール100には、完成複合材料内のマトリクス強化用の材料が装荷される。強化材料は、好ましくは纖維布地プリフォーム301である。纖維の布地は、好ましくは織構造を有する布地である。好ましくは、該織構造は、互いに角度60°の配向を有するように織られた、3つの独立した纖維のバンドルを有する。纖維は、好ましくはグラファイト纖維である。布地は、限定ではないが、3軸グラファイト纖維を含むことができる。好ましい纖維布地プリフォーム301には、軸方向の24k(すなわち24,000ストランド)バンドル・トウ、及び軸方向のトウから+60°の方向の2つの12k(すなわち12,000ストランド)バンドル、及び軸方向のトウから-60°方向の2つの12k(すなわち12,000ストランド)バンドルを有する3軸グラファイト纖維が含まれる。

【0041】

本発明の1つの実施形態において、ツール100は、好ましくは予め選ばれた幾何形状のスプールを有する。スプール形状には、2つのエンドプレート101及び103に付加された実質的に円筒型の本体105が含まれる。2つのエンドプレート101及び103のうちの少なくとも1つは、本体に固定され且つ取り出し可能である。本発明のこの実施形態において、ツール100に強化纖維材料を装荷するため、ツール100は、垂直方向に配向された平面を有して配置されたエンドプレート101及び103で配向される。グラファイト纖維布地プリフォーム301は、スプールの本体105の周りに配置される。プリフォームのフランジ部分305は、エンドプレート101及び103の各々の長さに沿って配置される。第1及び第2のエンドプレート101及び103に沿って延びる布地のフランジ部分305は、フランジ様形状を形成する。

【0042】

纖維布地プリフォーム301がツール上に装荷されると、複数のプレート(すなわちフランジシュー107)が、エンドプレート101及び103に沿ったツール100の周囲に沿って互いに当接して配列される。プレートの第1のセットは、第1のエンドプレート

10

20

30

40

50

101に隣接する。プレートの第2のセットは、第2のエンドプレート103に隣接する。プレートは好ましくは金属性であり、エンドプレート101及び103の長さに沿って伸びる材料の全長の表面積よりも大きな表面積903を有する少なくとも1つの表面を有する。プレートは、エンドプレート101及び103に沿って伸び、フランジ部分305を形成する纖維材料の支持部を与えるように配置され、応力緩和ファスナ111を用いてエンドプレートに固定される。各応力緩和ファスナ111は、硬化サイクルの前に室温でフランジシューを位置付けるファスナであり、硬化サイクルの温度上昇部分の間に第1及び第2エンドプレート101及び103からフランジシュー107を脱離させる。ツールが軸方向に膨張するので、応力緩和ファスナは、ツールの移動を阻止するのではなく、降伏させるように設計されている。従って、該ファスナはフランジシュー107をフランジに対して所定位置に保持するが、ツールが軸方向に膨張できるように降伏する。
10

【0043】

本発明の1つの実施形態において、プレートのうちの1つ又はそれ以上には、チャンネル201、303、403、405、503が備えられ、過剰な樹脂の循環を容易にする。チャンネル201、303、403、405、503により、マトリクス被覆纖維を担持するツールの領域からマトリクス被覆纖維を担持するツールの領域外へマトリクス材料601を通過させることが可能となる。チャンネル201、303、403、405、503は、纖維布地プリフォーム301を保持するツール100の領域に過剰なマトリクス材料601を出入させる。装荷中、オートクレーブに対して水平方向に整列した第1及び第2のエンドプレート101及び103を有するようにツール100が配置されると、底部にある第2のエンドプレート103は1つ又はそれ以上の開口部を含み、該開口部は、好ましくは頂部の第1のエンドプレート101上又はその近傍にある真空を与えるツールの区域と流体連通している。ツール100は、第1及び第2のエンドプレート101及び103が水平に整列したときに第1のエンドプレート101の上面に配置されるリザーバ109を含む。この実施形態において、真空はリザーバ109並びにフランジシュー107内の開口部との流体連絡部と流体連通する。流体連絡部は、サイホンとして機能し、重力により貯留する過剰なマトリクス材料601を吸引のあるツール区域に移動させ、これによって第1のエンドプレート101又はその近傍の区域を含む、マトリクス材料601をより少なく有する纖維区域に該マトリクス材料601を供給する。サイホン管113は、纖維布地プリフォーム301全体でのマトリクス材料601の均一な分布を可能にする。
20

【0044】

次いで、ツール100は、好ましくはバルク形態のマトリクス材料601で覆われる。纖維布地プリフォーム301の表面上に直接マトリクス材料601を被覆することにより、マトリクス材料601が纖維布地プリフォーム301上に装荷される。強化纖維布地プリフォーム301上へのマトリクス材料601の配置は、纖維布地プリフォーム301の表面上にマトリクス材料601の予め選択された量を置く段階を含む。マトリクス601の予め選択された量は、プリフォームを含浸するのに十分な量である。マトリクス材料601は、別個の部分の表面上に積重ねられ、又は積み上げられる。マトリクス材料601が纖維布地プリフォーム上に置かれると、バリアカウル603がマトリクス材料601を覆って配置され、ツールがオートクレーブ内に装荷されるまでマトリクス材料601を所定位置に保持する。加熱フェーズの間に、積重ね又は積み上げられたマトリクス材料層（すなわちレイアップ）は、溶融して纖維布地プリフォーム301内に浸透することになる。カウル603上のオートクレーブの圧力によってマトリクス材料601に印加される力は、マトリクス材料601が纖維布地プリフォーム301に含浸し纖維布地プリフォーム301全体にわたって外側に広がるのを助けることになる。溶融マトリクス材料の塊は、纖維布地プリフォーム301にわたり流動するときに波面を形成し、該波面は、樹脂が固化及び硬化を開始する前に、プリフォームからガス状ポケットを強制的に排出させる。詳細には、該波面は、空気と、溶媒蒸気などのバルクマトリクス材料601からの揮発性物質と、マトリクス材料内又は纖維布地プリフォーム301内に残留する不純物ガスピケッ
30

トなどのスペースを形成する可能性のある他のガスとを押し出す。マトリクス材料601の配置はまた、複雑な形状を有するプリフォームの含浸を可能とする。複雑な形状は、フランジ付円筒体よりも複雑な幾何形状の特徴部を有するプリフォームを含む。特徴部は、硬化前のマトリクス材料の流動のための1つより多い流路を有してプリフォーム内に存在することができる。例えば、強化マトリクス複合材部品は、補強材又は挿入特徴部が取り付けられた平面壁部分を含むことができる。

【0045】

本発明の1つの実施形態において、マトリクス材料601は、矩形のブロックセクションに分けられ、纖維布地プリフォームの表面上に配置され、且つ該表面に一致する樹脂である。適切な樹脂は、限定ではないが、エポキシ及び/又はポリイミドを含むことができる。マトリクス材料601は、より多くの量のマトリクス材料601が、纖維布地プリフォーム301の中央部607（すなわち、図6に示される、第1及び第2のエンドプレート101及び103の中間点607）上に被覆され、より少ない量が、纖維布地プリフォーム301の縁部609（すなわち、図6に示される、第1及び第2のエンドプレート101及び103に隣接した区域）上に被覆されるように、纖維布地プリフォーム301の表面に被覆される。

【0046】

纖維布地プリフォーム301がマトリクス材料601で被覆されると、マトリクス材料が被覆された纖維布地プリフォーム301は、エラストマー材シート（すなわち、カウル603）で被覆される。カウル603は、纖維布地プリフォーム301内へのマトリクス材料の流動を離隔し制御するための障壁として機能する。カウル603が配置された後、カウル603は、ツール100に対して封止されて障壁が形成され、カウル603を通過するマトリクスの流れが阻止されるが、纖維布地プリフォーム301に沿った流れは可能である。

【0047】

カウル603が、纖維 - マトリクス材料の周りに置かれて封止されると、カウル603とマトリクス材料601が被覆された纖維布地プリフォーム301とを含むツール100は、真空エンベロープ又はバッグ605の内部に置かれる。真空供給源117が、真空バッグ605及びツール100に接続されて、減圧（すなわち真空）が供給される。真空供給源605は、好ましくは水銀柱約28インチまで、より好ましくは水銀柱約30インチまでの真空に引く。該真空は、工程の加熱及び硬化フェーズの間にマトリクス材料601を分配するための推進力を与える。真空バッグ605を介してツール100が真空に引かれる。次いで、装荷されたツール100が加熱される。ツール100が加熱されている間、真空バッグ605の外側のガスの正圧が供給される。該正圧は、好ましくは窒素などの不活性ガスで供給される。加熱及び保持サイクルの間、該正圧は、好ましくは最大約2001b/in²又はそれ以上、より好ましくは最大約2201b/in²又はそれ以上に高められる。オートクレーブ内に装荷されると、ツール100は、好ましくは、第1及び第2のエンドプレート101及び103の平面がオートクレーブに対して水平に整列した状態で配向される。

【0048】

複合材を形成するために、マトリクス材料601が装荷された、カウル被覆の纖維布地プリフォーム301が加熱される。マトリクス材料601は、より高温で粘性となり、纖維布地プリフォーム301内に流れる（すなわち含浸する）。同時に、纖維布地プリフォーム301が装荷されたツール100は、熱膨張に起因して膨張する。纖維布地プリフォーム301は、殆ど又は全く熱膨張を生じないので、該纖維布地プリフォーム301は引き締められ、纖維布地プリフォーム301における少なくとも幾らかの張力と纖維の整列が与えられる。次いで、ツール100とマトリクス被覆纖維布地プリフォーム301とは、マトリクス材料が纖維布地プリフォーム301を完全に含浸できる温度にまで加熱される。纖維布地プリフォーム301が実質的に含浸された後、ツール100及び纖維布地プリフォーム301は硬化温度にまで加熱され、纖維強化マトリクス複合材が硬化されるま

10

20

30

40

50

で硬化温度に保持される。該方法は、少なくとも以下の段階：第1の加熱段階、第1の保持段階、第2の加熱段階、第2の保持段階、及び冷却段階を含む。温度は第1の保持温度に向けて徐々に高められる。適切な温度上昇速度の範囲は、限定ではないが、約1/2°F/分から約1°F/分までが含まれる。第1の保持段階の温度及び時間は、マトリクス材料が強化纖維に十分浸透できる程度とされる。第1の保持段階の適切な温度の範囲は、限定ではないが、約300°Fから約325°Fを含む。第1の保持段階の適切な温度は、限定ではないが、約310°Fである。第2の保持段階の温度及び時間は、マトリクス材料が十分硬化するものとされる。第2の保持段階の適切な温度の範囲は、限定ではないが、約350°Fから約375°Fを含む。第1の保持段階の適切な温度は、限定ではないが、約360°Fを含む。硬化すると、強化マトリクス複合材は室温にまで徐々に冷却される。

10

【0049】

加熱段階の間、オートクレーブの加熱ガスはツール100全体にわたって分布され、マトリクス含浸纖維布地の均一な加熱を可能にする。好ましくは、本体105は中空であり、及び/又は内部表面を有し、該表面は纖維布地プリフォーム301が配置される表面の反対側にある。この実施形態において、内側表面は加熱雰囲気に曝され、本体105を介して纖維布地プリフォーム301及びマトリクス材料601が加熱される。図1に示される好ましい実施形態において、ツール本体は中空であり、実質的に円筒型の形状である。円筒体の外部（すなわち、その上に纖維布地プリフォーム301が配置される表面）及び内部は、真空バッグ605により加熱雰囲気に曝される。円筒の中空部分への入口は、加熱雰囲気を均一に分布させるためのディフューザを含むことができる。加熱雰囲気は、マトリクス含浸纖維布地701全体にわたって均一に熱を分布させ、強化複合材マトリクスを均一に硬化させる。

20

【0050】

加熱及び真空サイクルの間、カウル605は、マトリクス材料601が真空に向かう方向又は重力方向の何れかの移動を可能とする。真空の方向におけるよりも重力の方向に多くのマトリクス材料601が移動する。フランジシュー107内の開口部は、過剰なマトリクス材料が、纖維を保持するツール100の部分から流出できるようにする。ツール100が、水平に整列した第1及び第2のエンドプレート101及び103を備えて配置されると、底部にあるエンドプレート（すなわち、第2のエンドプレート103）は、リザーバ109で又はその近傍で真空を供給するツール100の区域に流体接続された1つ又はそれ以上の開口部201を含む。真空を供給するツール100の区域は、好ましくはツール100の上部のエンドプレート（すなわち第1のエンドプレート101）或いはその近傍にある。1つの実施形態において、ツール100は、第1及び第2のエンドプレート101及び103が水平に整列するときに第1のエンドプレート101の上部に配置されるリザーバ109を含む。この実施形態において、真空供給源117がリザーバ109、並びに、フランジシュー107内の開口部との流体接続部に接続される。該流体接続部はサイホンとして機能し、重力により貯留する過剰なマトリクス材料を吸引のあるツール区域に移動させ、これによってマトリクス材料601を第1のエンドプレート101の又はその近傍の区域を含む、マトリクス材料601をより少なく有する纖維区域に供給する。

30

【0051】

ツール100が加熱されると、該ツールは熱的に膨張する。ツール100は、纖維布地プリフォーム301及びマトリクス材料601の膨張速度を上回る速度で膨張する材料で作製される。従って、ツール100が膨張すると、纖維布地プリフォーム301は有意に低い速度で膨張し、膨張するツール100によって引き締められ、プレストレスト纖維強化材を生成する。マトリクス材料601が、大きなツール表面積903で実質的に分布されて硬化すると、ツール100は、周囲温度まで冷却することが許可される。ツール100の材料は、温度降下に伴って熱的に収縮する。しかしながら、マトリクス材料で圧密された纖維は、高温でツール100表面寸法に引き締められて硬化され、有意に低い速度で熱的に収縮する。ツール100の材料が冷却されると、マトリクス材料601で圧密され

40

50

た纖維が第1及び第2のエンドプレート101及び103のうちの少なくとも1つに力を作用させ、これは、低温で硬化された強化マトリクス材料601の表面が、低温のツール表面よりも大きいことに起因する。少なくとも1つの第1及び第2のエンドプレート101及び103は移動が許容されており、エンドプレートのうちの少なくとも1つ（すなわち第1のエンドプレート101）を保持するファスナが降伏して、ツール100の本体が膨張するときにエンドプレートが移動できるようになる。従って、ファスナ111の降伏によって、フランジアセンブリはツール100の本体を拘束できないようになる。サイクルが完了し、プレストレスト強化纖維を有する強化バルクマトリクス601が硬化して冷却されると、強化バルクマトリクス材料601はツール100から取り出され、必要に応じて最終仕上げが行われる。同様に、完成部品の幾何形状に応じて必要であれば、本体105を分解して硬化した強化マトリクス複合材部品の取り出しを容易にすることができる。ファスナ111は使い捨て型であり、再使用されない。
10

【0052】

マトリクス材料601と接触するツール100の種々の表面には、任意選択的にポリテトラフルオロエチレンなどの離型フィルムを被覆することができる。離型材はツール構成要素に固着せず、完成部品の取り出しを容易にする。例えば、本体105、第1及び第2のエンドプレート101及び103、フランジシュー107、及び／又はカウル605には、ポリテトラフルオロエチレンを被覆することができる。

【0053】

本発明の代替の実施形態において、予含浸纖維布地プリフォーム301が本発明のツール100上に装荷される。予含浸纖維布地プリフォーム301は、本発明のツール100上に装荷される前に未硬化マトリクス材料601で装荷される布地である。フランジシュー107が、ツール100上に予含浸纖維布地プリフォーム301と隣接して配置される。予含浸纖維布地プリフォーム301に使用するフランジシュー107は、オートクレーブ圧力が印加されたときのフランジシュー107の変位を誘導するためのレール、ガイド、又は同様の機構を更に有する。マトリクス材料601で予含浸されていない纖維布地プリフォーム301を有する実施形態の場合と同様に、フランジシュー107は、フランジ部分305内の纖維布地プリフォーム301よりも表面積が大きく、オートクレーブ圧力からの大幅な位置保持力を付加する。ツール100が硬化サイクルの加熱中に膨張すると、該ツールは、フランジシュー107の範囲にわたって纖維布地プリフォーム301の纖維を引き締める。レール、ガイド、又は類似の機構は、予含浸纖維布地内のマトリクス材料601を粘性にするのに十分な加熱に相当する程度までツール100が膨張するとき、フランジシュー107が纖維に加わる力だけを許容できるように位置付けられる。マトリクス材料601が粘性になると、フランジシュー107は、纖維布地プリフォーム301に力を加えて纖維布地を引き締めることができる。ドライ纖維布地を用いる実施形態の場合と同様に、纖維布地を引き締める段階は、プレストレスト纖維強化マトリクス複合材を生成する。ツール100及び完成製品は冷却され、ツール100が熱収縮するが、完成了強化マトリクス複合材は、これと同程度までは収縮しない。フランジシュー107及び第1のエンドプレート101は、応力緩和ファスナ111を用いて固定される。フランジシュー107を保持する応力緩和ファスナ111が適切な半径方向応力を下回る力を与えるときに緩和が生じ、第1のエンドプレート101を保持する応力緩和ファスナ111は軸方向応力を緩和する。
20
30
40

【0054】

本発明の1つの実施形態は、2.5%以下のスペースを有する複合材格納ダクト1100を含む。複合材格納ダクト1100は、好ましくは2.0%未満のスペース、最も好ましくは1.0%未満のスペースを有する。

【0055】

本発明による複合材格納ダクト1100は、改善された格納特性を有する。本発明の1つの実施形態は、グラファイト纖維-エポキシマトリクス複合材格納ダクト1100である。本発明のグラファイト纖維-エポキシマトリクス複合材は、高強度を有し、強いフランジシュー107を有する。
50

ンジを含み、軽量であり、且つブレードアウト試験に良好に合格する特性を有する。ブレードアウト試験は、ガスタービンエンジンがフルセットのファンブレードとブレード経路の外周を取り巻く格納ダクトとを備えて取り付けられる試験である。ファンブレードは、航空機離陸中に到達するのと同じ回転速度を受ける。1つ又はそれ以上のブレードが取り付け部から放出され、格納ダクトへの衝突が許容される。合格したブレードアウト試験では、ブレードは格納ダクト内部に保持される。本発明の方法は、ガスタービンエンジン用のタービンエーロフォイル構成要素の作製に特に好適である。詳細には、本発明の方法は、ブレードアウト試験に耐えるファンケーシングなどの格納ダクトの作製に好適である。

【0056】

10

本発明の方法及びツール100は、大型の部品を作製できる。部品の寸法は、ツール100の表面の寸法よりも僅かに小さい。本発明のツール100及び方法は、大型の壁構造体を有する部品の作製に特に好適であり、該部品には、直径が約10フィートの円筒型部品を含む、約5フィート以上の直径を有する円筒型部品が含まれる。1つの実施形態において、本発明のツールは、実質的に均一なマトリクス分布と低いスペース率を維持し、約10フィート以上の直径を有する円筒型部品を生成することができる。

【0057】

本発明の格納ダクト1100のフランジ1101は高強度を有する。高強度のための1つの寄与因子は、フランジ1101が格納ダクト1100の一体化部品として形成されることである。加えて、フランジ1101内部の纖維が引き締められ、実質的な整列及び強度強化がもたらされる。加えて、格納ダクト内部のマトリクス分布は、ダクト本体1103全体にわたり且つフランジ1101全体にわたって実質的に均一である。フランジ1101内部のこの実質的に均一な分布は、フランジ1101の高強度に寄与する。壁の部分と同様に、フランジ1101は、プレストレスト強化纖維及び均一なマトリクス分布を有する。

20

【0058】

本発明の方法及びツール100は、纖維布地プリフォーム301の含浸及び硬化後にニアネットシェイプの複合材を提供する。ツール100は、マトリクス材料601で含浸する間に、纖維布地プリフォーム301に所要の製品の形状をもたらす。硬化すると、マトリクス材料601が含浸された纖維布地プリフォーム301はニアネットシェイプのものであり、最終仕上げを行う必要が殆ど又は全くない。本発明に従って纖維強化マトリクス複合材を製造する方法は、完成した製品の形状を実質的に有し、取り付け前に最終仕上げを行う必要が殆ど又は全くない複合材部品を提供する。

30

【0059】

本発明のツール100からの完成部品の取り出しが、比較的簡単であって安価である。任意選択の離型フィルムに加え、第1のエンドプレート101が本体から離れ、本体105からの部品の取り出しが可能になる。ツール100は、硬化サイクルの間に離されるツール100の構成要素以上に分解することは必要ではない。従って、完成部品の取り出しは極めて僅かな労力しか要せず、安価である。

【0060】

40

本発明を好ましい実施形態を参照しながら説明してきたが、本発明の範囲を逸脱することなく、種々の変更を行うことができ、且つ均等物で本発明の要素と置き換えることができる点は当業者には理解されるであろう。加えて、本発明の基本的範囲を逸脱することなく、特定の状況又は材料を本発明の教示に適合させるために多くの修正を行うことができる。従って、本発明は、本発明を実施するために企図される最良モードとして開示された特定の実施形態に限定されるものではなく、むしろ本発明は、添付の請求項の範囲内に入る全ての実施形態を含むことになる点が意図される。

【図面の簡単な説明】

【0061】

【図1】本発明によるツールの斜視図。

50

【図2】本発明によるツールの側面図。

【図3】本発明によるツールの第1の部分の代替の実施形態の断面図。

【図4】本発明によるツールの第1の部分の代替の実施形態の断面図。

【図5】本発明によるツールの第2の部分の断面図。

【図6】本発明によるツールを用いた複合材形成方法の各段階を示す図。

【図7】本発明によるツールを用いた複合材形成方法の各段階を示す図。

【図8】本発明によるツールを用いた複合材形成方法の各段階を示す図。

【図9】本発明によるツールを用いた複合材形成方法の各段階を示す図。

【図10】本発明によるマトリクス材料分配システムの概略図。

【図11】本発明による複合材格納ダクトの斜視図。

10

【符号の説明】

【0062】

100 ツール

101 エンドプレート

103 エンドプレート

105 円筒型本体

107 フランジシューの第2のセット

117 真空供給源

119 フランジシューの第1のセット

121 フランジシューの第2のセット

203 キャビティ

301 繊維布地プリフォーム

20

【図1】

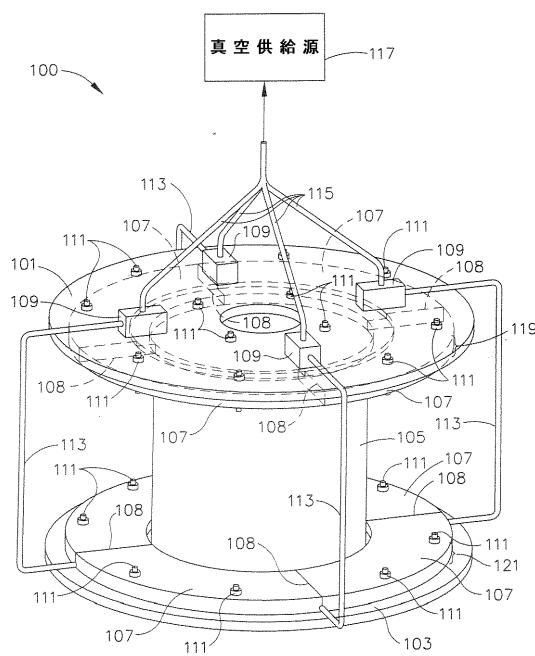


FIG. 1

【図2】

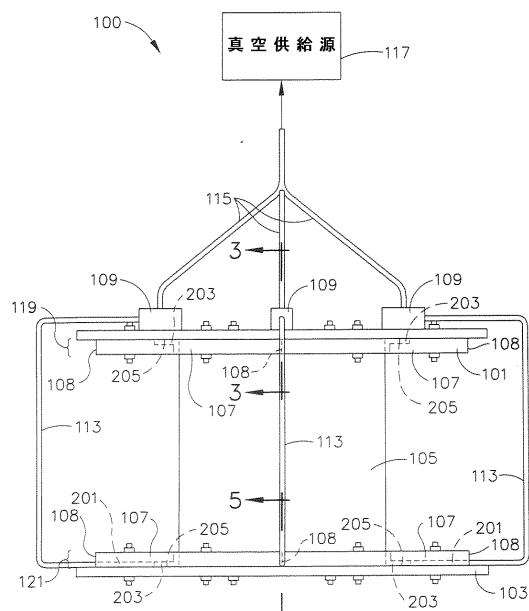
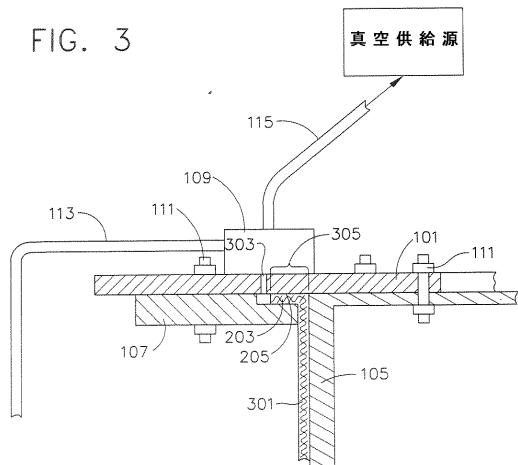


FIG. 2

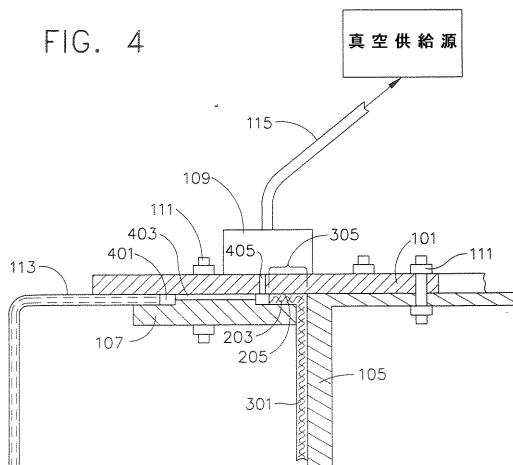
【図3】

FIG. 3



【図4】

FIG. 4



【図5】

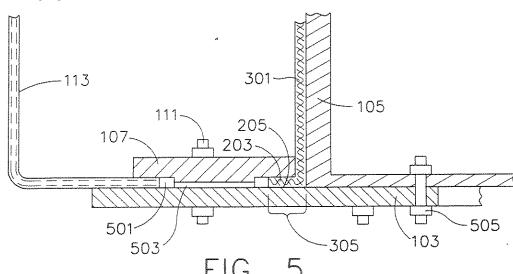


FIG. 5

【図6】

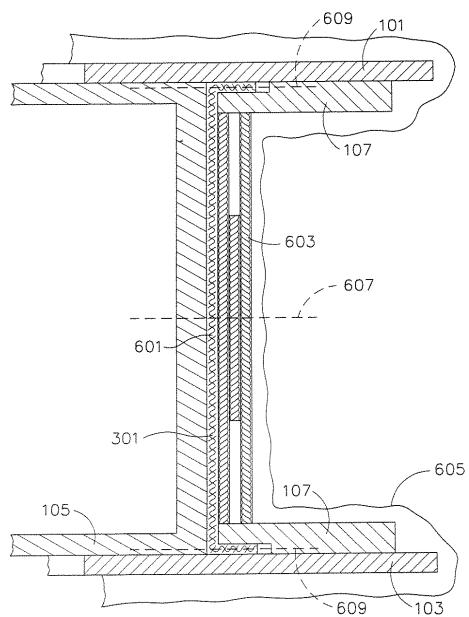


FIG. 6

【図7】

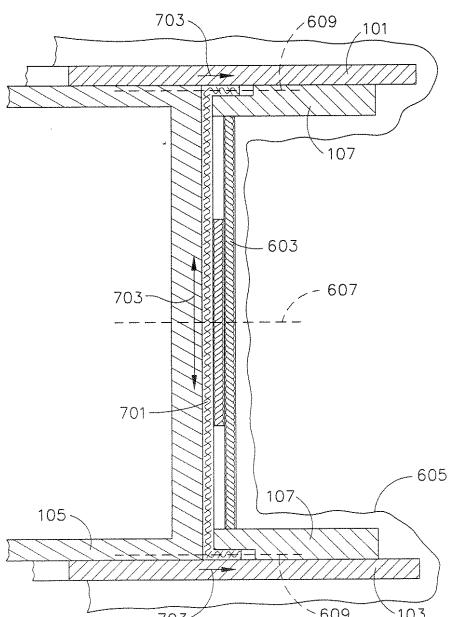


FIG. 7

【図 8】

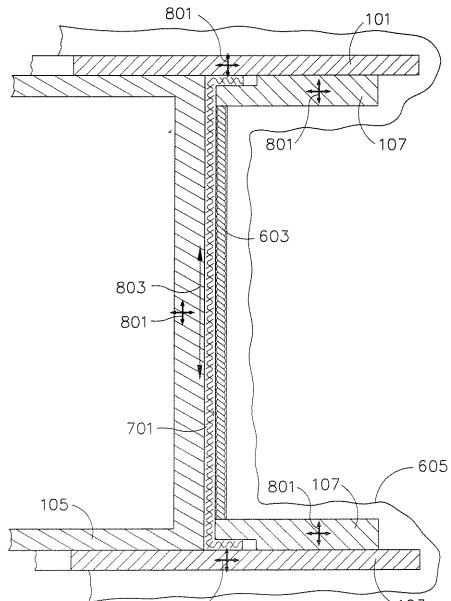


FIG. 8

【図 9】

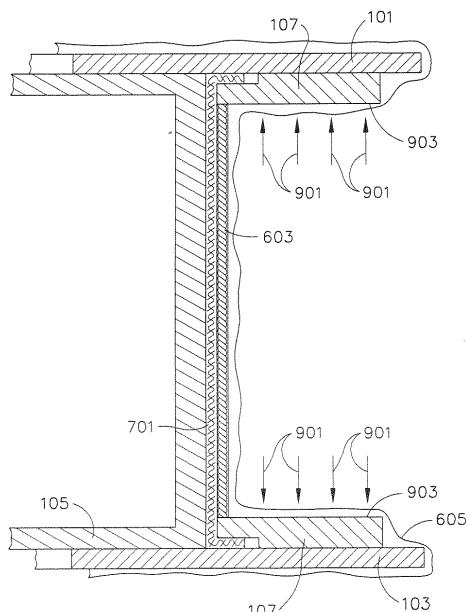


FIG. 9

【図 10】

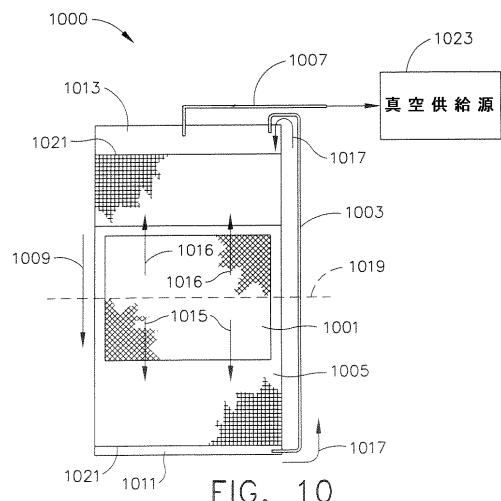


FIG. 10

【図 11】

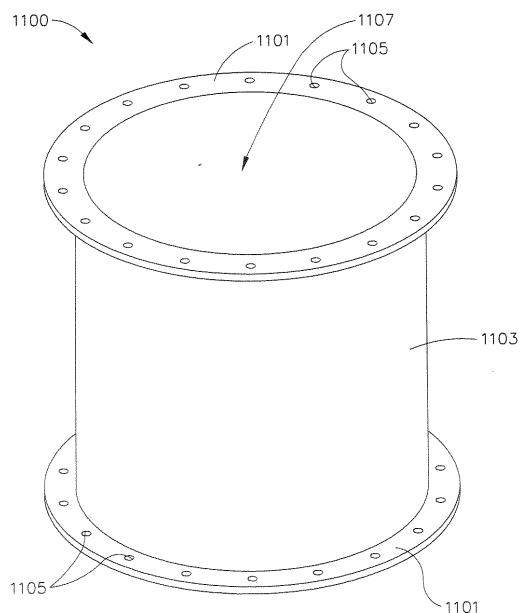


FIG. 11

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
B29L 31/30 (2006.01) B29L 31:30

- (72)発明者 グレゴリー・ジョセフ・マイバース
アメリカ合衆国、オハイオ州、メイソン、スプリング・ミスト・コート、6655番
(72)発明者 ロバート・ポール・フェアバンクス
アメリカ合衆国、オハイオ州、シンシナティ、トライデール・コート、6038番
(72)発明者 スティーブン・マーク・ウイティカー
アメリカ合衆国、ケンタッキー州、コヴィングトン、ハンズ・ロード、1286番
(72)発明者 リチャード・トマス・プライス
アメリカ合衆国、カリフォルニア州、ヨルバ・リンダ、ロータス・アベニュー、5075番
(72)発明者 マシュー・バナード・バチェック
アメリカ合衆国、オハイオ州、ハミルトン、タイラーズ・ヒル・コート、7621番

審査官 村松 宏紀

(56)参考文献 特開平04-270610(JP,A)
特開2004-181627(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B29C 33/00 - 33/76
B29C 39/00 - 39/44