

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5473914号
(P5473914)

(45) 発行日 平成26年4月16日(2014.4.16)

(24) 登録日 平成26年2月14日(2014.2.14)

(51) Int.Cl.

G01B 11/00 (2006.01)

F 1

G01B 11/00

A

請求項の数 14 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2010-520279 (P2010-520279)
 (86) (22) 出願日 平成20年8月6日 (2008.8.6)
 (65) 公表番号 特表2010-536038 (P2010-536038A)
 (43) 公表日 平成22年11月25日 (2010.11.25)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2008/072336
 (87) 國際公開番号 WO2009/021038
 (87) 國際公開日 平成21年2月12日 (2009.2.12)
 審査請求日 平成23年8月1日 (2011.8.1)
 (31) 優先権主張番号 11/836,242
 (32) 優先日 平成19年8月9日 (2007.8.9)
 (33) 優先権主張国 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、60606-1596
 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 100109726
 弁理士 園田 吉隆
 (74) 代理人 100101199
 弁理士 小林 義教
 (72) 発明者 ブレナン, ジョセフ ディー.
 アメリカ合衆国 ワシントン 98155
 , ショアライン, 28番 プレイス
 エヌイー 16340

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】プライの境界及び方向の自動検査方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

単一層又は複数層からなるパーツの製作中に自動積層成形装置の位置的な積層精度を判定する方法であって、

少なくとも一つの位置決めデバイスを用い、該位置決めデバイスと関連した第1の座標系における積層成形装置の積層ヘッド(54)の位置(210)を測定するステップ、

積層ヘッド(54)に対するプライ端部の位置(212)を決定するステップ、

プライ端部の位置を、測定されたヘッドの位置に基づく該第1の座標系中に変換(220)するステップ、

プライ端部の位置を、前記第1の座標系から、製作中のパーツに関連する第2座標系中に変換(222)するステップ、及び

第2座標系における実際のプライ端部の位置と、当該第2座標系において規定されたプライ端部の予測位置とを比較することにより、装置の積層精度を決定するステップを含む方法。

【請求項 2】

プライ端部の位置を決定するステップが、

積層ヘッド(54)に対する位置が既知の装置内蔵式視覚システム(120)を作動させて、製作中のパーツの表面上に、表面接線に鋭角で且つ視覚システム(120)に対する位置関係が既知の少なくとも一つのレーザ線を投射するステップ、

投射された少なくとも一つのレーザ線の不連続性を利用して、視覚システムの座標系内

10

20

におけるプライ端部の積層位置を決定するステップ、及び
視覚システムの基準フレームを、製作中のパーツの表面に相関させるステップ
からなる、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

視覚システム(120)の基準フレームをパーツの表面に相関させるステップが、
複数の近接センサ(154)の視覚システムに対する搭載位置を規定するステップ、
前記複数の近接センサ(154)を利用して、パーツの表面上に、視覚システムの視野
に実質的に相関する信号を投射するステップ、及び

製作中のパーツ上に投射された記号の位置を、前記近接センサ(154)の規定された
搭載位置に相関させるステップ

からなる、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

プライ端部の位置を前記第 1 の座標系に変換(222)するステップが、各レーザ線の
不連続性の三次元座標を積層ヘッドの位置に内挿するステップからなる、請求項 3 に記載
の方法。

【請求項 5】

前記第 1 の座標系における積層ヘッドの位置(210)を測定するステップが、
積層成形装置の積層ヘッド(54)に対する複数のレーザ追跡装置(112)の搭載位
置を規定するステップ、

積層ヘッド(54)と対応する各レーザ追跡装置(112)との間の距離を受け取るス
テップ、及び

レーザ追跡装置(112)から受け取った距離を当該追跡装置の搭載位置に相関させ
ることにより、積層ヘッド(54)の位置を決定するステップ
からなる、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

ジャイロスコープ(152)を利用して積層ヘッド(54)の方向を供給するステップ
を更に含む、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

少なくとも一つのエンコーダ(130)、全地球測位システム、及び追跡干渉計を利用
することにより、製作中のパーツに関連するマンドレル(52)の方向及び回転を測定す
るステップを更に含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

自動積層成形(AFP)装置(100)であって、
 AFP ヘッド(54)、

位置決めデバイスであって、該位置決めデバイスと関連した一の座標系内における前記
 AFP ヘッドの位置を供給する少なくとも一つの位置決めデバイス(112)、及び

前記 AFP ヘッド(54)によって材料が積層されるとき、纖維材料のプライの端部の
配置を決定する視覚システム(120)

を備え、当該装置は、前記 AFP ヘッド(54)に対する前記視覚システム(120)の
位置に基づいてプライの端部の位置を計算するようプログラムされており、

さらに当該装置は、当該位置を、前記 AFP ヘッド(54)に関連する座標系から、前
記装置によって製作されるパーツに関連する座標系へと変換し、製作されたパーツに関連
する該座標系における決定されたプライ端部の位置を、製作中の部品に関連する座標系に
おいて規定されたプライ端部の予測位置とを比較することにより装置の積層精度を判定す
るようにプログラムされている、装置。

【請求項 9】

前記少なくとも一つの位置決めデバイスが、
各々が、前記 AFP ヘッド(54)に関連する座標系内において既知の位置にある複数
の追跡デバイス、及び

前記 AFP ヘッド(54)上に搭載された複数の反射デバイス

10

20

30

40

50

を備え、前記追跡デバイスが、前記反射デバイスから受け取る反射に基づいて、座標系内における前記 A F P ヘッド(54)の位置を追跡する、請求項 8 に記載の A F P 装置(100)。

【請求項 10】

前記複数の追跡装置が、それぞれの前記反射デバイスの三次元位置を供給し、前記反射デバイスの位置が前記 A F P ヘッド(54)を基準としている、請求項 8 に記載の A F P 装置(100)。

【請求項 11】

前記少なくとも一つの位置決めデバイスが、方向データを供給するジャイロスコープ(152)を備え、前記装置が、前記ジャイロスコープ(152)から受け取った方向と、前記追跡装置からのデータとを相關させることにより、前記 A F P ヘッド(54)の座標系内における位置及び方向を供給するように動作可能である、請求項 9 に記載の A F P 装置(100)。

10

【請求項 12】

前記少なくとも一つの位置決めデバイスが全地球測位システム(GPS)を備えており、前記装置が、前記 GPS から受け取った位置と、前記追跡装置からのデータとを相關させることにより、前記 A F P ヘッド(54)の座標系内における位置及び方向を供給するように動作可能である、請求項 9 に記載の A F P 装置(100)。

【請求項 13】

レーザ源を更に備えており、端部の配置を決定するために、前記レーザ源が、前記視覚システム(120)に対して既知の位置関係を有する少なくとも一つのレーザ線を、前記視覚システム(120)の視野の中央に投射することにより、前記視覚システム(120)が、プライの端部を示す不連続性を識別することができ、前記装置が、前記不連続性の位置を計算することができる、請求項 8 に記載の A F P 装置(100)。

20

【請求項 14】

複数の近接センサ(154)を更に備えており、前記近接センサ(154)が、前記 A F P ヘッド(54)に対して既知の位置にあり、且つ前記装置により製作されるパーティ上の前記近接センサ(154)からの投射が共同で、実質的に前記視覚システム(120)の視野を画定するように分散している、請求項 8 に記載の A F P 装置(100)。

【発明の詳細な説明】

30

【背景技術】

【0001】

本発明は、概して、層状複合材料の製作に関し、具体的には、プライの境界及び方向の自動検査方法とシステムに関する。

現行の製造現場の一部では、製造者が、光学的レーザテンプレート(O LT)を用いて複合構造のプライの配置を 100% 検査しなければならない。レーザレーダーなどの他の大規模な測定法を使用してもよいが、O LT は現在最も効率的な検査方法である。特定の構造では、この検査プロセスは、平均で、プライ一つにつき 30 ~ 90 分の時間を要する。これらの構造は、60 ~ 70 以上の個別プライを含み得る。容易に理解できるように、この O LT 検査は、本構造、場合によっては航空機の複合胴体バレルの、製作にかかる全フロー時間の有意な部分を占める結果となる。これは、試作品製造の現場では許容可能であるが、製造現場では許容できないものである。製造速度が高い現場では、プライの境界の検査作業に O LT プロセスを利用することにより、工場の速度性能が大きく阻害される。加えて、例えば複合胴体の拡張版など、複合構造が修正されるような場合、拡大された表面に必要な精度で O LT を投影できない。

40

【0002】

上述のように、O LT は現在、プライ境界及び個々のプライの方向を検査するための好みしい方法である。各プライが、例えば積層成形装置によって配置された後、硬化マンドレルを基準として O LT を調節し、現在製造中の複合構造の表面の上に適切なプライを投影する。投影完了後、検査官は、投影されたプライの境界端部と、最近配置された複合ブ

50

ライの端部とを、目視により比較する。問題とする領域全てを測定し、やり直しを行う。胴体バレルの全表面のような大規模構造の作業を行う場合、入射角の問題が生じる。特に、レーザ投射とパーツ表面との間の入射角に限界があることにより、胴体の全周囲を覆うためには、OLTの複数の（例えば6以上の）セグメント上に完全な胴体プライを投影しなければならない。

上述のように、現在のOLTプロセスには時間がかかる。平均で、完全な胴体パーツ用のプライの境界及び方向の検査には30時間以上を要し、これは高速製造の現場では許容されない。現在のOLTシステムのスループット率が限られていることに加えて、上述のような入射角の問題といった幾つかの技術的な限界が存在する。単一のOLTがその動作性能を超えると、パーツの交差を緩めるか、測定システムにより増補された複数のOLTを利用するか、又は別のプライ境界検証システムを使用しなければならない。現在、プライ境界を検査するために、OLTより許容可能且つ費用効率的な方法はない。10

【発明の概要】

【0003】

一態様では、複数層からなるパーツの製作中に自動積層成形装置の位置的な積層精度を判定する方法が提供される。本方法は、一の座標系内での積層成形装置の積層ヘッドの位置を測定するステップ、積層ヘッドに対するプライ端部の位置を決定するステップ、測定されたヘッド位置に基づく座標系にプライ端部の位置を変換するステップ、プライ端部の位置を、前記座標系から、製作中のパーツに関連する第2座標系に変換するステップ、並びに製作中のパーツに関連する第2座標系におけるプライ端部の実際の位置と、当該第2座標系において規定されたプライ端部の予測位置とを比較することにより、装置の積層精度を判定するステップを含む。20

【0004】

別の態様では、自動積層成形（A.F.P.）装置が提供される。本装置は、A.F.P.ヘッド、座標系内におけるA.F.P.ヘッドの位置を供給する少なくとも一つの位置決めデバイス、及び視覚システムを含む。視覚システムは、A.F.P.ヘッドによって纖維材料を配置するときに纖維材料からなるプライの一端の配置を判定する。本装置は、A.F.P.ヘッドに対する視覚システムの位置に基づいてプライの端部の位置を計算し、この位置を、A.F.P.ヘッドに関連する座標系から、装置が製作するパーツの座標系に変換するようにプログラムされている。30

【0005】

また別の態様では、パーツマンドレル上に配置された纖維材料からなるプライ端部の、座標系内における位置を決定する方法が提供される。本方法は、座標系における位置が既知である複数の追跡デバイスを用いて積層ヘッドまでの距離を決定するステップ、慣性デバイスから積層ヘッドの方向を受け取るステップ、前記方向、距離、及び既知の位置に基づいて、積層ヘッドの空間内での位置と方向とを計算するステップ、視覚システムを用いて纖維材料の端部を識別するステップであって、視覚システムの位置が積層ヘッドの位置に基づいているステップ、パーツマンドレルに対する視覚システムの位置方法を決定するステップ、並びに積層ヘッドの位置と視覚システムの方向とにに基づいて、識別された端部の位置を計算するステップを含む。40

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】表面公差の影響により、光学的レーザテンプレートの投影が不安定となる様子を示す。

【図2】炭素纖維又はその他材料が周囲に積層されるマンドレルを含むプライ積層成形システムを示す。

【図3】視覚システム及びその他部品が搭載された自動積層成形（A.F.P.）ヘッドの拡大図である。

【図4】A.F.P.ヘッド座標系からマンドレル（パーツ）座標系への転換を示すフローチャートである。50

【発明を実施するための形態】

【0007】

プライの境界及び方向の検査に関する上述の問題に対処するために、本発明による方法及びシステムの実施形態を利用して、速度能を向上させ、反復するフロー時間を短縮し、労働時間を短縮し、未来バージョン及び様々な複合構造のプライ検査を可能にするもので、特定の実施形態では、複合構造は胴体バレル用の構造である。

開示される実施形態は、レーザ追跡測定デバイス又はその他の位置測定デバイスと組み合わせた視覚システムと、自動積層成形装置によって硬化マンドレル（又はツール）上に積層されている炭素繊維材料の位置をマッピングするためのエンコーダとを利用する。具体的には、本システムは、ツール上における材料の配置位置を記録し、当該位置と公称材料積層エンジニアリングデータセットとを比較することにより、製造公差外の積層領域を示す。

【0008】

上述のように、現在の光学的レーザテンプレート（OLT）プロセスは長時間を要する。平均で30時間以上が、胴体バレル上におけるプライの境界及び方向の検査に起因している。OLTプロセスの速度的な限界に加えて、大規模構造及び製作中の構造の表面に対するレーザ入射角に関して上述したような技術的限界も存在する。

更に、図1は、表面公差の影響により、光学的レーザテンプレートからの入射光線の投射が不安定であることを示している。図1は、OLT方法の限界の一つと、硬化マンドレルの表面に対する投射角を制限する必要性を更に示すものである。表面法線と入射レーザ光の間の角度が大きくなるにつれ、材料の位置に対してマンドレル形状に関連するエラーの可能性が高くなる。これらのエラーは、表面法線と入射光線の間の差異を制限することにより軽減することができるが、マンドレルが回転する角度を追加して投影プロセスを反復しなければならず、検査プロセスがさらに遅延する。

【0009】

図2は、マンドレル52を含むプライ積層成形システム50を示し、マンドレルの周囲には、例えば炭素繊維又はその他の材料が積層される。このような材料は、自動積層成形（A F P）ヘッド54からマンドレル52上に配置される。プライの境界及び方向の自動検査システム100の一実施形態の特定の部品も示されている。図示の実施形態では、三つのレーザ追跡装置112、114、及び116からなるレーザ追跡システム110、視覚システム120、エンコーダ130（設備に応じて線形エンコーダ又は角度エンコーダ）が組み合わされて境界検査システム110を形成している。随意で、ジャイロスコープ（図2には示さない）及び/又は全地球測位システム（図示しない）を、単独で、或いは一又は複数のレーザ追跡装置と組み合わせて使用することにより、A F Pヘッド54に関連する位置情報を供給することができる。特定の実施形態では、ジャイロスコープ及び/又はG P Sを使用することにより、必要なレーザ追跡装置の数を低減するか、又はそれらを全て排除する。

レーザ追跡装置112、114、及び116の各々は、A F Pヘッド54に搭載されたミラー又はコーナーキューブミラーに対し、当該ミラーが常に発信元にレーザ光線を反射を返すように、レーザ光線を投射する。基本的に、各レーザ追跡装置112、114、及び116は、レーザ光線が投影されている位置における距離と角度とを、非常に精確に測定する。各レーザ追跡装置は、A F Pヘッド54を基準とする反射地点の三次元座標系を供給する。少なくとも三つのレーザ追跡装置と、A F Pヘッド上の三つの反射地点（ミラー）により、ミラーが存在する空間内に三つの点が生成され、これによりA F Pヘッド54の位置と、当該位置が回転しているか、又は上下に運動しているかを計算することができる。空間内におけるレーザ標的（図3に示す）の位置、又は地点、したがってA F Pヘッド54の位置、又は地点は、レーザ追跡装置が占めていた空間内の地点が既知であり、当該追跡装置によってレーザ標的までの距離及びレーザ標的からの角度が測定済みであることから、計算することができる。

【0010】

10

20

30

40

50

具体的には、境界検査システム 100 は、視覚システム 120 を利用して、材料プライの端部がマンドレル 52 上に配置されるとき、 AFP ヘッド 54 の位置に基づいて、当該端部の配置を自動的に判定する。プライ端部の位置は、 AFP ヘッド 54 の視覚システム 120 から、 AFP ヘッド 54 の位置情報を用いることにより、製作中の構造の座標系内に変換される。この座標系は、パーツ座標系と呼ばれることもある。前記位置情報は、境界検査システム 100 に接続された測定機器（例えば、レーザ追跡システム 110 及びジャイロスコープ）と、エンコーダ 130 から取得されるマンドレル回転位置とにより取得される。

プライ端部がパーツ座標系に転送された後、ソフトウェアを利用して、公称プライ端部と、境界検査システム 100 を用いて生成された点とを比較する。特定の実施形態では、このような比較は合否判定試験にまとめられるか、又は定量試験が使用される。定量試験は、位置的に許容可能な限界の外側に配置されたプライの領域を図解的に強調するために使用される。この試験は、リアルタイムで行われるか、又は処理後最小時間で行われる。

【0011】

上述の境界検査システム 100 を利用する一つの結果として、製品の合否判定方法が得られ、この方法では、上述のように製作プロセスの一部（例えば、一プライ層）の完成後にレーザを投射する視覚検査とは対照的に、自動積層成形製造の間に、カメラ、測定機器（例えば、レーザ追跡デバイス及びジャイロスコープ）、及び分析ソフトウェアを使用する。境界検査システム 100 を用いる検査と、現行の既存のOLT 法との大きな違いは、炭素繊維又は他の材料が積層されている間にシステム 100 が動作することである。OLT 法では、基準からの偏差は通常、例えば検査のプロセスの間に、検査官によって再加工される。しかしながら、そのような手順では、見つかった欠陥及び補正される異常は記録されないことがある。境界検査システム 100 の自動化により、全てのプライ積層が追跡可能となる。したがって、一つ一つの異常が記録可能であり、積層技術及びプログラムの継続的な品質向上のためのデータとして使用することができる。特定の実施形態では、欠陥及び異常にに関する情報は、 AFP 装置にフィードバックすることにより、プライの補正に利用することができ、その結果クローズドループプライ積層システムが形成される。

次に、境界検査システム 100 の個々の部品に言及する。視覚システム 120 は、一又は複数のカメラ、近接センサ、及びレーザを含むことができ、自動積層成形装置のヘッド 54 に搭載され、単独で又は共同で、マンドレル 52 上に積層される纖維材料を観察する。視覚システムの一出力は、プライ端部が視覚システム自体と相対する位置である。

【0012】

レーザ追跡装置の一又は複数のコーナーキューブを含む測定機器と、ジャイロスコープと、全地球測位システムも AFP 装置のヘッドに搭載され、 AFP ヘッド、及び当該ヘッドに搭載された視覚システムの、製作中のパーツに関連するマンドレルに対する位置及び方向を測定するために使用される。上記エンコーダは、パーツマンドレル 52 の、レーザ追跡装置に対する回転位置をモニタリングするために利用される。境界検査システム 100 の個々の部品からのデータは、一組の測定点を、製作中のパーツに関連する座標系に変換するために利用される。例えば、航空機の胴体部分について、データは航空機の座標に変換される。

次いでソフトウェアプログラムを利用して、これらの点の位置と、各プライの公称プライ境界位置とを比較する。公称プライ境界と観測されたプライ境界との比較は、リアルタイムで行うことができるか、又は後処理操作の一部として行うことができる。つまり、境界検査システム 100 は、硬化マンドレル 52 上に材料が配置されている位置を測定し、それらの測定値をパーツ座標に変換し、それらの測定値と公称エンジニアリングパーツ定義とを比較することができる。

【0013】

図 3 は、自動積層成形（ AFP ）ヘッド 54 の一実施形態の拡大図である。図示のように、ヘッド 54 には、視覚システム 120 、レーザ標的 150 （本明細書では、ミラー、反射デバイス、又はコーナーキューブということもある）、上述のジャイロスコープ 15

10

20

30

40

50

2、及び視覚システム 120 上又は同システム近傍に取り付けられた複数の近接センサ 154 が搭載される。少なくとも一つの実施形態では、レーザ標的が A F P ヘッド 54 上に位置することにより、当該ヘッド 54 が回転して標的が閉鎖されると、レーザ追跡装置は他の標的 150 に切換えることができる。

種々の実施形態において、視覚システム 120 は、一又は複数のレーザ線を投射することができる。いずれの実施形態でも、製作中のパーツの表面に対するレーザの投射は、表面の法線に対して入射角を持つ。表面の高さに何らかの変化があると、視覚システム 120 の観点から不連続性が生まれる。このような不連続性は、視覚システム 120 に対して既知の位置関係を有する。レーザの投射線における不連続性を利用して、回転するマンドレル 52 上に積層されているプライ端部の位置が、視覚システム 120 の基準の枠内に収まるかどうかが決定される。10 視覚システムの基準枠をパーツ表面に相關させるために、相対的な距離及び方向が変わりうるので、複数の近接センサ 154 を使用してレーザ点を投射する。一実施形態において、前記レーザ点は、視覚システム 120 の視野の四隅にほぼ相関する。四つのレーザ点が存在すること、又はそれらが視野の四隅に位置することは必須ではない。例えば、視覚システム 120 の視野内のいずれかの地点に三つ以上のレーザ点を投射して利用する実施形態を、表面の画定に利用できる。視覚システムの視野内これららのレーザ点の位置を、これらのセンサの既知の投射位置と、これらのセンサの各々による距離の読み出しへに相關させることにより、三次元座標位置を内挿して各レーザ線の不連続性を求めることができる。このような相関関係により、A F P ヘッド 54 に対するプライ端部位置の三次元座標系が生成される。20

【0014】

ジャイロスコープ 152 とレーザ追跡装置 112、114、及び 116（図 2 参照）からなるシステムによって決定された A F P ヘッド 54 の既知の位置を用いて、プライ端部の三次元位置を、ジャイロスコープ 152 に関連する座標内に変換することができる。この測定システムを完成させるために、エンコーダ 130（図 2 参照）のような、マンドレルの位置及び回転の測定値を供給するデバイスが提供される。回転するマンドレルの座標を追跡装置の座標に関連する座標に変換するには二段階のプロセスを要する。第 1 のステップでは、追跡干渉計により既知の回転角度におけるマンドレルの方向を測定し、第 2 のステップでは、エンコーダ 130 によりマンドレル 52 の方向を測定する。

A F P ヘッドの座標からパーツ座標への変換は、A F P ヘッドから追跡装置の座標へ、次いで追跡装置の座標からマンドレル（又はパーツ）の座標へ、という基本的に二つの変換である。A F P ヘッド 54 の位置が変化してマンドレル 52 が回転するとき、アルゴリズムがパーツの座標を計算する。追跡装置によって測定される初期マンドレル方向の静的パラメータが存在し、当該パラメータはこの関数に代入される。このようにして、視覚システム 120 によって記録された測定値はパーツ座標に変換される。30

【0015】

プライ端部がパーツ座標系において規定された後、実際の位置とエンジニアリング上の公称位置とを直接比較する。例えば一又は複数のコンピュータ支援設計（C A D）ファイルにより規定された公称位置と測定データとを比較する一の方法は、点と、これらの点と交差するパーツの外側モールド線に垂直なベクトルとによって積層の隅を規定することである。測定された点は、二つのベクトルの間の平面と比較される。測定は、積層プロセスを検証するための第三者によるソフトウェアを用いて行うこともできる。40

C A D モデルに対して単純な輪郭線上のプライ端部の位置を分析するソフトウェアが、一実施形態に含まれる。モデル内のプライの点における C A D 情報を外側モールド線に基づいて使用し、法線ベクトルと組み合わせる。プライ端部上の測定点から隣接する二つの法線ベクトル間に形成される平面までの距離を検査することにより、当該測定点をその公称位置と比較する。このような分析により、マンドレル 52 の材料の圧密度のばらつき及び半径誤差に起因する半径のばらつきが排除される。

【0016】

図 4 は、A F P ヘッドの座標からマンドレル（パーツ）の座標系への一変換方法を示す50

ことによりシステム 100 の動作を更に説明するフローチャート 200 である。

マンドレル 52 上の標準点を測定し 202、その後 AFP ヘッド 54 の動きをモニタリング又は追跡し、マンドレルの回転角度を決定する 204。変換により、追跡システム（レーザ、ジャイロスコープ、GPS、又はこれらのいずれかの組み合わせ）に対するマンドレルの方向を計算する 206。

【0017】

ボックス 208 に示すように、空間内における x、y、z の位置および空間内におけるその i、j、k、即ち回転方向を知るために、任意の本体上に少なくとも三つの点が必要である。図 2 の三つのレーザ追跡装置 112、114、及び 116 と、それら各々のコーナーキューブとを利用する実施形態は、AFP ヘッド 54 の位置及び方向を計算するために利用される。具体的には、対応するレーザ追跡装置により各コーナーキューブの位置を測定し 210、AFP ヘッドに対するコーナーキューブの所定の既知の位置、x、y、z 位置及び AFP ヘッド 54 に関するその i、j、k 方向を計算する 212。別の実施形態では、ジャイロスコープの読み取りではなく、三つのレーザ追跡装置 112、114、及び 116 によって規定される点の読み取りを用いて、ピッチ、ヨー、及び回転を計算することができる。

別の実施形態では、ジャイロスコープ 152 の精度により、一のレーザ追跡装置とジャイロスコープ 152 だけを用いて、AFP ヘッド 54 の位置を計算することができる。したがって、ジャイロスコープ 152 を含む実施形態では、ピッチ、ヨー、及び回転の測定も行われ 214、一又は二つのレーザ追跡装置の必要性が排除される。図 4 のフローチャート 200 は、コーナーキューブベクトル及び追跡装置をチェックして、コーナーキューブに対して追跡装置を更に適切な角度で（入射角が小さくなるように）方向付けることを考慮している。

【0018】

動作中のコーナーキューブレーザ標的 150 の x、y、及び z を補正する 218 とき、補正、又は補償は、入射角に基づいて行う。レーザ標的 150 は、固体のコーナーキューブでも、ジンバル付きコーナーキューブでもよいことに注意されたい。 AFP ヘッド 54 の上記の位置は、レーザ追跡システムに関連する座標系において供給され 220、材料がその上に積層されるマンドレル 52 に関連する座標に変換される 222。空間内における AFP ヘッド 54 の位置と、視覚システムに対する纖維の配置位置を供給する 224 AFP ヘッド 54 上に搭載された視覚システム 120 とにより、これら二つの情報をを利用して、空間内における纖維材料の積層位置を決定することができる。つまり、材料が積層されている位置が確かであれば、点検及び / 又は検査をランダムに行うことができるか、恐らくは排除できる。

上述のように、データ処理の後、レーザ追跡装置 112、114、及び 116 の各々は三次元座標（x、y、z の位置）と方向（i、j、k 方向）を出力する。これらの出力をコンパイルすることにより、AFP ヘッド 54 の位置を計算することができる。視覚システム 120 に関し、個々のカメラにより、纖維が積層されている領域の二次元画像が提供される。これらの二次元画像と、AFP ヘッド 54 内の視覚システムの位置とを用いて、プライ端部の配置位置の三次元座標を計算することができる。

【0019】

具体的には、近接センサを用いてプライ端部の座標を決定する。この近接センサは、一実施形態では小規模レーザ距離測定装置である。上述のように、二次元画像の各隅の近接センサの一つにより、投射された各レーザ点の視覚システムからの距離を決定することができる。四つの点の距離から、マンドレル表面を平面とみなしそう、前記四点に基づく位置を内挿することができる。

表面の二次元画像に基づいて更に説明すると、画像中の表面が視覚システム 120 に完全に垂直であるか、又は角度をなして傾いているか、或いは合成された角度で傾いているかは明らかでない。上記情報によって視点から画像の各隅までの距離が供給されることにより、その表面の、視覚システム 120 に対する角度又は位置を計算することができる。

10

20

30

40

50

二次元画像と、四つの近接センサからの距離の情報を利用することにより、当該平面が視覚システム 120 に対してどこに、又はどのように方向に付けられているかについての情報が供給される。

【 0020 】

一実施形態では、視覚システムの視野の中央に平行なレーザ線を投射し、プライの端部を示すレーザの不連続性を識別するために利用する。特に、レーザ光線は、プライの端部において不連続である。開示される実施形態では、プライ表面に対して角度をなすレーザ線を投射することにより、(プライの纖維材料の適用により)その表面の高さが変化するときにレーザ線が不連続となる。視覚システム 120 により供給されるデータと共にアルゴリズムを使用して、レーザ線の不連続が生じるデータ内のピクセル位置を判定する。上述の位置決定と併せて、不連続の生じる位置を計算することが可能であり、これにより、マンドレル 52 に積層されるプライの端部の位置を計算することができる。10

実際には、纖維材料のプライを適用する間に、視覚システム 120 により一秒間に 30 回程度の画像取得が行われる結果、プライの積層位置に関係なく、端部の点群の集積又は複数の端部点位置が得られ、これを公称又はエンジニアリング規定と比較することにより、材料プライの端部位置を確認することができる。

【 0021 】

本明細書に開示されるプライ境界及び方向の自動検査システム 100 に関連して節約される費用是有意なものである。上述のように、一つの胴体部分につき、プライの境界及び方向の検査だけで約 30 ~ 40 時間が費やされている。製造プロセスからこのようなフロー時間を排除することにより、自動積層成形に関連する生産速度能は著しく向上する。その結果フロー時間を短縮することができ、これにより追加的な自動積層成形装置と、特定の生産速度を維持するための速度ツールとを排除し、且つ顧客への製作済みパーツの納入に遅延が生じる危険を低減することができる。加えて、本明細書に記載されるシステム 100 のような適格な自動検査システムは、全ての製造偏差を文書化及び記録すると同時に、パーツ品質も改善する。20

自動積層成形パーツ検査に対する上述の解決法は、必要な計算を行うために要するフロー時間を短縮することにより、現行の手動による検査方法を改善するものである。このような検査システムにより、複合パーツ製造プログラムは、製造されるパーツの大きさの包絡線を拡大することができ、その際には、一般に重量の増大とパーツのばらつきを招くパーツ交差を広げることがない。システム 100 はさらに、A F P 装置の制御装置と共に動作することで、プライが積層される位置を検査するだけでなく、リアルタイムフィードバックループを介した動作の間に、A F P 装置の積層精度に生じるすべてのエラーを補正することができる。したがって、システム 100 は、製作中のパーツの欠陥を自動的に探すだけでなく、製作中のパーツについて C A D ファイルに規定されたプライ境界からのプライ層の逸脱を低減する。30

【 0022 】

種々の特定の実施形態の観点から本発明について説明したが、当業者であれば、請求の範囲及び精神の範囲内で、本発明に変更が可能であることが分かるであろう。

また、本発明は以下に記載する態様を含む。

(態様 1)

単一層又は複数層からなるパーツの製作中に自動積層成形装置の位置的な積層精度を判定する方法であって、

座標系における積層成形装置の積層ヘッドの位置を測定するステップ、

積層ヘッドに対するプライ端部の位置を決定するステップ、

プライ端部の位置を、測定されたヘッドの位置に基づく座標系中に変換するステップ、

プライ端部の位置を、前記座標系から、製作中のパーツに関連する第 2 座標系中に変換するステップ、及び

製作中のパーツに関する第 2 座標系における実際のプライ端部の位置と、当該第 2 座標系において規定されたプライ端部の予測位置とを比較することにより、装置の積層精度40

を決定するステップを含む方法。(態様 2)プライ端部の位置を決定するステップが、積層ヘッドに対する位置が既知の装置内蔵式視覚システムを作動させて、製作中のパートの表面上に、表面接線に鋭角で且つ視覚システムに対する位置関係が既知の少なくとも一つのレーザ線を投射するステップ、投射された少なくとも一つのレーザ線の不連続性を利用して、視覚システムの座標系内におけるプライ端部の積層位置を決定するステップ、及び視覚システムの基準フレームを、製作中のパートの表面に相関させるステップ

10

からなる、態様 1 に記載の方法。(態様 3)視覚システムの基準フレームをパートの表面に相関させるステップが、複数の近接センサの視覚システムに対する搭載位置を規定するステップ、前記複数の近接センサを利用して、パートの表面上に、視覚システムの視野に実質的に相関する信号を投射するステップ、及び製作中のパート上に投射された記号の位置を、前記近接センサの規定された搭載位置に相関させるステップからなる、態様 2 に記載の方法。(態様 4)プライ端部の位置を独立した座標系に変換するステップが、各レーザ線の不連続性の三次元座標を積層ヘッドの位置に内挿するステップからなる、態様 3 に記載の方法。

20

(態様 5)独立した座標系における積層ヘッドの位置を測定するステップが、積層成形装置の積層ヘッドに対する複数のレーザ追跡装置の搭載位置を規定するステップ、積層ヘッドと対応する各レーザ追跡装置との間の距離を受け取るステップ、及びレーザ追跡装置から受け取った距離を当該追跡装置の搭載位置に相関させることにより、積層ヘッドの位置を決定するステップからなる、態様 1 に記載の方法。

30

(態様 6)ジャイロスコープを利用して積層ヘッドの方向を供給するステップを更に含む、態様 5 に記載の方法。(態様 7)少なくとも一つのエンコーダ、全地球測位システム、及び追跡干渉計を利用することにより、製作中のパートに関連するマンドレルの方向及び回転を測定するステップを更に含む、態様 1 に記載の方法。(態様 8)自動積層成形 (A F P) 装置であって、A F P ヘッド、

40

一の座標系内における前記 A F P ヘッドの位置を供給する少なくとも一つの位置決めデバイス、及び前記 A F P ヘッドによって材料が積層されるとき、纖維材料のプライの端部の配置を決定する視覚システムを備え、前記 A F P ヘッドに対する前記視覚システムの位置に基づいてプライの端部の位置を計算し、当該位置を、前記 A F P ヘッドに関連する座標系から、前記装置によって製作されるパートに関連する座標系へと変換するようにプログラムされている、装置。(態様 9)さらに、製作されるパートに関連する座標系において決定されたプライ端部の位置と、製作中のパートに関連する座標系において規定されたプライ端部の予測位置とを比較する

50

ことにより、装置の積層精度を判定する、態様 8 に記載の A F P 装置。

(態様 1 0)

前記少なくとも一つの位置決めデバイスが、

各々が、前記 A F P ヘッドに関連する座標系内において既知の位置にある複数の追跡デバイス、及び

前記 A F P ヘッド上に搭載された複数の反射デバイス

を備え、前記追跡デバイスが、前記反射デバイスから受け取る反射に基づいて、座標系内における前記 A F P ヘッドの位置を追跡する、態様 8 に記載の A F P 装置。

(態様 1 1)

前記複数の追跡装置が、それぞれの前記反射デバイスの三次元位置を供給し、前記反射デバイスの位置が前記 A F P ヘッドを基準としている、態様 8 に記載の A F P 装置。

10

(態様 1 2)

前記少なくとも一つの位置決めデバイスが、方向データを供給するジャイロスコープを備え、前記装置が、前記ジャイロスコープから受け取った方向と、前記追跡装置からのデータとを相關させることにより、前記 A F P ヘッドの座標系内における位置及び方向を供給するように動作可能である、態様 1 0 に記載の A F P 装置。

(態様 1 3)

前記少なくとも一つの位置決めデバイスが全地球測位システム (G P S) を備えており、前記装置が、前記 G P S から受け取った位置と、前記追跡装置からのデータとを相關させることにより、前記 A F P ヘッドの座標系内における位置及び方向を供給するように動作可能である、態様 1 0 に記載の A F P 装置。

20

(態様 1 4)

レーザ源を更に備えており、端部の配置を決定するために、前記レーザ源が、前記視覚システムに対して既知の位置関係を有する少なくとも一つのレーザ線を、前記視覚システムの視野の中央に投射することにより、前記視覚システムが、プライの端部を示す不連続性を識別することができ、前記装置が、前記不連続性の位置を計算することができる、態様 8 に記載の A F P 装置。

(態様 1 5)

複数の近接センサを更に備えており、前記近接センサが、前記 A F P ヘッドに対して既知の位置にあり、且つ前記装置により製作されるパーツ上への前記近接センサからの投射が共同で、実質的に前記視覚システムの視野を画定するように分散している、態様 8 に記載の A F P 装置。

30

(態様 1 6)

前記近接センサの各々から距離測定値を受け取り、前記視覚システムに対して既知の位置関係を有する少なくとも一つのレーザ線を前記視覚システムの視野の中央に投射するレーザ源を更に備えていることにより、前記視覚システムによる、プライの端部を示す不連続性の識別を可能にする装置であって、更に、

前記近接センサの各々に既知の位置に距離を相關させ、

前記 A F P ヘッドに対する各レーザ線の不連続性の三次元座標位置を内挿する、態様 1 5 に記載の A F P 装置。

40

(態様 1 7)

関連するパーツマンドレルに対する前記 A F P ヘッドの位置を測定する、態様 1 4 に記載の A F P 装置。

(態様 1 8)

前記複数のレーザ追跡デバイスに対するパーツに関連するマンドレルの回転位置についてのデータを出力するエンコーダを更に備える、態様 8 に記載の A F P 装置。

(態様 1 9)

パーツマンドレル上に積層される纖維材料のプライ端部の、一座標系における位置を判定する方法であって、

前記座標系内に既知の位置を有する複数の追跡デバイスを利用して、積層ヘッドまでの

50

距離を決定するステップ、

慣性デバイスから積層ヘッドの回転を受け取るステップ、

前記方向、距離、及び既知の位置に基づいて、積層ヘッドの空間内における位置及び方向を計算するステップ、

視覚システムを利用して纖維材料の端部を識別するステップであって、視覚システムの位置が積層ヘッドの位置に基づいているステップ、

パーティマンドレルに対する視覚システムの方向を決定するステップ、及び

積層ヘッドの位置及び視覚システムの方向に基づいて、識別された端部の位置を計算するステップ

を含む方法。

10

(態様 20)

積層ヘッドまでの距離を決定するステップが、対応する反射デバイスまでの距離を測定するステップからなり、積層ヘッドに対する反射デバイスの位置が既知である、態様 19 に記載の方法。

(態様 21)

積層ヘッドの方向を受け取るステップが、ジャイロスコープからピッチ、ロール及びヨーのデータを受け取るステップからなり、積層ヘッドに対するジャイロスコープの位置が既知である、態様 19 に記載の方法。

(態様 22)

前記複数のレーザ追跡デバイスに対するパーティマンドレルの回転位置を受け取るステップを更に含む、態様 19 に記載の方法。

20

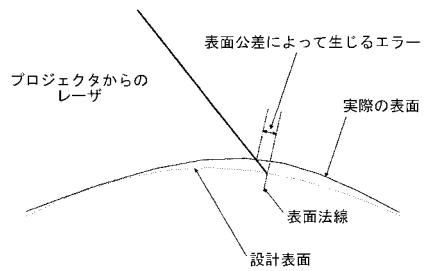
(態様 23)

パーティマンドレルに対する視覚システムの方向を決定するステップが、

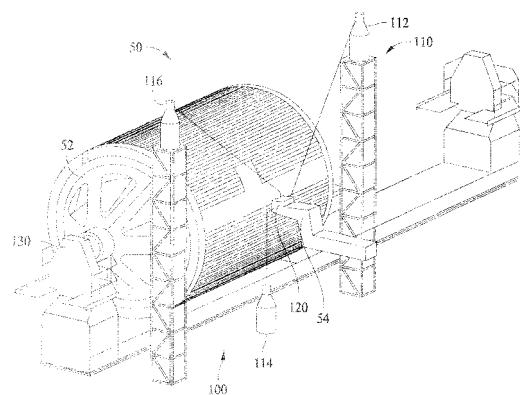
積層ヘッドに対して既知の位置に分散した複数のセンサを利用して、パーティマンドレルまでの距離を測定するステップであって、視覚システムの視野内にセンサから投射が行われるステップ、及び

積層ヘッドに対し、識別された端部の三次元座標位置を内挿するステップからなる、態様 19 に記載の方法。

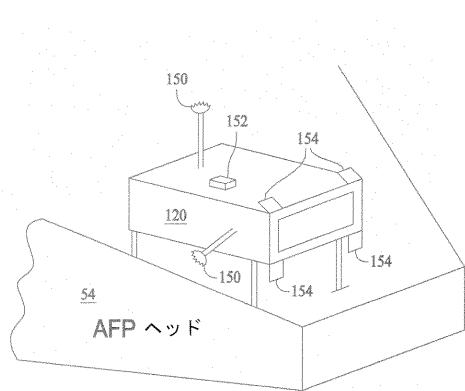
【図1】



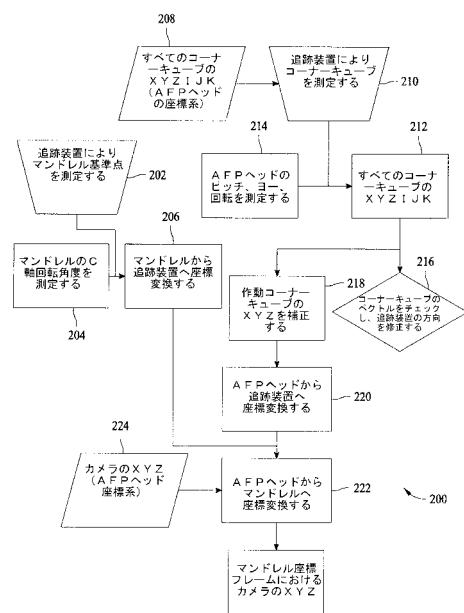
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 アツセブハ， ソロマン ティー.

アメリカ合衆国 ワシントン 98178， シアトル， サウス 135番 ストリート 76
02

(72)発明者 ドーシー - パルマティア， ジョン ダブリュー.

アメリカ合衆国 ワシントン 98332-1044， ギグ ハーバー， サザーランド スト
リート 3912

(72)発明者 アンダーソン， パトリック エル.

アメリカ合衆国 ワシントン 98074， サマニッシュ， エヌイー 29番 ストリート
21602

審査官 岸 智史

(56)参考文献 國際公開第2006/114216 (WO, A1)

特開平03-184785 (JP, A)

米国特許出願公開第2007/0034313 (US, A1)

特表平10-510773 (JP, A)

特開平01-119708 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00 - 11/30