

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6400591号
(P6400591)

(45) 発行日 平成30年10月3日(2018.10.3)

(24) 登録日 平成30年9月14日(2018.9.14)

(51) Int.Cl.	F 1
B29C 70/30 (2006.01)	B29C 70/30
B29C 70/38 (2006.01)	B29C 70/38
B29C 70/54 (2006.01)	B29C 70/54

請求項の数 13 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2015-540676 (P2015-540676)
(86) (22) 出願日	平成25年10月7日 (2013.10.7)
(65) 公表番号	特表2015-534915 (P2015-534915A)
(43) 公表日	平成27年12月7日 (2015.12.7)
(86) 国際出願番号	PCT/US2013/063697
(87) 国際公開番号	W02014/074252
(87) 国際公開日	平成26年5月15日 (2014.5.15)
審査請求日	平成28年8月29日 (2016.8.29)
(31) 優先権主張番号	13/671,552
(32) 優先日	平成24年11月7日 (2012.11.7)
(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、60606-2016 イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイ ド・プラザ、100
(74) 代理人	110002077 園田・小林特許業務法人
(72) 発明者	ファム、トゥルン・ディー。 アメリカ合衆国 イリノイ 60606, シカゴ、ノース・リバーサイド・プラ ザ 100

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】複合材レイアップ中の欠損トウを検出するシステム及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

トウバンド中の欠損トウを検出するためのシステムであって、
トウバンドを基板に貼付して複合材レイアップを形成するように構成された纖維配置ヘッドと、
前記纖維配置ヘッドを使用して前記トウバンドを貼付する前に前記基板を予熱するよう
に構成された加熱装置と、

前記纖維配置ヘッドに装着され、前記トウバンドを前記基板に貼付する間に、前記複合
材レイアップのリアルタイム熱画像を生成するように構成された赤外線カメラと、

前記赤外線カメラと通信可能に結合されている比較器であって、前記基板側から第1の
熱量が前記欠損トウに起因したトウバンドにおける間隙を通って前記複合材レイアップの
表面側へ放射する熱画像の領域における第1の熱の痕跡と、第2の熱量が前記欠損トウの
両側に配置されたトウを通って前記複合材レイアップへ放射する前記熱画像の前記領域に
における第2の熱の痕跡と、を比較する比較器と、

トウレイダウンプログラムと関連づけられる参照点に関して、前記欠損トウの両端部の
場所を特定するように構成されたプロセッサと、を備えるシステム。

【請求項 2】

前記複合材レイアップの前記リアルタイム熱画像を表示するように構成されたディスプ
レイ装置を更に備える、請求項1に記載のシステム。

【請求項 3】

10

前記赤外線カメラは、前記纖維配置ヘッドの前進運動の方向に対して、圧縮ローラの後方に位置付けられる、請求項1または2に記載のシステム。

【請求項4】

前記加熱装置は、前記纖維配置ヘッドの前進運動の方向に対して、圧縮ローラの前方に位置付けられる、請求項1から3のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項5】

前記プロセッサはタイムスタンプを積層シーケンス中のプライの深さに関連付けるように構成されている、請求項1～4のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項6】

トウバンド中の欠損トウを検出する方法であって、

基板を予熱することと、

前記トウバンドを前記基板に貼付して複合材レイアップを形成することと、

前記トウバンドが前記基板に貼付される間に、前記複合材レイアップのリアルタイム熱画像を生成することと、

前記基板側から第1の熱量が前記欠損トウに起因したトウバンドにおける間隙を通って前記複合材レイアップの表面側へ放射する熱画像の領域における第1の熱の痕跡と、第2の熱量が前記欠損トウの両側に配置されたトウを通って前記複合材レイアップへ放射する前記熱画像の前記領域における第2の熱の痕跡と、を比較することと、

トウレイダウンプログラムと関連づけられる参照点に関して、前記欠損トウの両端部の場所を特定することと

を含む方法。

【請求項7】

前記リアルタイム熱画像を生成することは、

赤外線カメラを使用して前記リアルタイム熱画像を生成することを含む、請求項6に記載の方法。

【請求項8】

前記リアルタイム熱画像を生成することは、

纖維配置ヘッドの圧縮ローラの後方に装着された前記赤外線カメラを使用して、前記リアルタイム熱画像を生成することを含む、請求項7に記載の方法。

【請求項9】

前記リアルタイム熱画像を生成することは、

ヘッドの運動方向に沿って、前記纖維配置ヘッドを移動させる間に、前記リアルタイム熱画像を生成することを含む、請求項8に記載の方法。

【請求項10】

トウが欠損しているかどうかを決定することは、

ディスプレイ装置上で、前記複合材レイアップの熱の痕跡中の局所的な差異について、前記リアルタイム熱画像を目視検査することを含む、請求項6から9のいずれか一項に記載の方法。

【請求項11】

トウが欠損しているかどうかを決定することは、

前記複合材レイアップの前記リアルタイム熱画像の熱の痕跡と、前記複合材レイアップの基準熱画像の熱の痕跡とを比較することを含む、請求項6から10のいずれか一項に記載の方法。

【請求項12】

欠損トウが検出されると、タイムスタンプを記録することと、

前記タイムスタンプを前記複合材レイアップ中の前記欠損トウの位置に関連付けることを更に含む、請求項6から11のいずれか一項に記載の方法。

【請求項13】

前記基板を予熱することは、

前記トウが前記基板に貼付される点の直前で、前記基板の領域を加熱するように構成さ

10

20

30

40

50

れている加熱装置を使用して、前記基板を予熱することを含む、請求項6から12のいずれか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

複合材構造体は、予め含浸された纖維のトウの連続細片又は帯（バンド）をツール又はマンドレル上に貼付して、複数のプライを有する複合材レイアップを形成する、自動纖維配置マシンを使用して製造されることがある。各トウは、樹脂を使用して端部と端部とで接合される幾つかのトウセグメントからなることがある。トウは、纖維配置ヘッド上に装着される複数のトウスプールから引き出されてもよい。纖維配置ヘッドは、トウバンドを形成するため、複数のトウが互いに隣接した配置に揃えるトウコリメータを含んでもよい。トウバンドはトウコリメータから纖維配置ヘッドの貼付装置に供給され、纖維配置ヘッドがツールに沿ってツール表面の輪郭線にたどるにつれて、トウはツール又はマンドレル上に押圧される。

【0002】

時折、トウバンドをツール表面に貼付するプロセスの間に、コリメータを経由する又は纖維配置ヘッドの他のコンポーネントを経由するトウの供給ミスなどによって、トウバンドからトウが欠損することがある。トウはまた、トウの接合部の断裂によって欠損することもある。加えて、トウとツール表面又は基板との間の連結が不十分な状態でトウがツールに貼付された後、トウがツール表面から脱落することによって、欠損がある。

【0003】

欠損トウを検出する従来の方法は、欠損トウを示唆するレイアップ表面の陥凹の存在を探す複合材レイアップの目視検査を含む。残念ながら、各トウの厚みは比較的小さく（例えば、0.008インチ）、幅も比較的小さい（例えば、0.125インチ）ため、レイアップ表面上の陥凹を検出することは困難となる。加えて、人の眼による目視検査でレイアップ表面上の陥凹を検出することは、複合材レイアップが同一纖維方向のトウを有する重複プライから成り、トウが黒色であるためにコントラストが最小となるような場合には、さらに困難になることがある。レイアップ表面の触覚検査は、ある種の複合材構造体に関連する比較的大きな面積では、実用的でないことがある。加えて、触覚検査では、所望の結果が得られないことがある。

【0004】

欠損トウを検出する従来の方法に関連して更に問題となるのは、纖維配置マシンが、トウバンドにトウが欠損した状態で複合材料の貼付を継続することである。例えば、複合材料の多重プライは、欠損トウが検出されて纖維配置マシンが停止される前に、トウが欠損した状態で領域上に積層される。トウが欠損している複合材レイアップの領域で再作業を行うには、トウが欠損している領域全体を大まかに特定しなければならない。しかしながら、複合材レイアップの再作業には、大きな費用をかけて、労働集約的で長時間を要するプロセスで材料の除去と交換が必要となることがある。しかも、トウの欠損領域は大まかにしかわからないため、欠損トウの正確な場所に到達するまでには、大量の材料の除去が必要となることがある。

【0005】

このように、当該技術分野においては、より高い精度で複合材レイアップ中の欠損トウを検出するためのシステム及び方法が必要とされている。加えて、当該技術分野においては、再作業中に取り除かれる複合材料の量を最小限にするため、欠損トウの正確な場所が特定され得るような、複合材レイアップ中の欠損トウを検出するためのシステム及び方法が必要とされている。

【発明の概要】

【0006】

欠損トウの検出に関する上述の必要性は、トウバンド中の欠損トウを検出するためのシステムを提供する本開示によって、具体的に対処され軽減される。本システムは、トウ

10

20

30

40

50

バンドを基板に貼付して複合材レイアップを形成するための纖維配置ヘッドを含むことがある。本システムはさらに、トウバンドの貼付の前に、基板を予熱するための加熱装置を含むことがある。本システムは追加的に、纖維配置ヘッドに装着され、トウバンドを基板に貼付する間に、複合材レイアップのリアルタイム熱画像を生成するように構成された赤外線カメラを含むことがある。

【0007】

更なる実施形態では、トウバンド中の欠損トウを検出するためのシステムが開示される。本システムは、トウバンドを基板に貼付して複合材レイアップを形成するように構成されている纖維配置ヘッドを含むことがある。本システムは更に、圧縮ローラの前方に位置付けられ、圧縮ローラを使用してトウバンドを貼付する前に、基板を予熱するように構成される赤外線加熱器を含むことがある。加えて、本システムは、纖維配置ヘッドに装着され、トウバンドを基板に貼付する間に、複合材レイアップのリアルタイム熱画像を生成するように構成される赤外線カメラを含むことがある。本システムはまた、複合材レイアップのリアルタイム熱画像を表示するため、赤外線カメラに結合されるディスプレイ装置を含むことがある。

10

【0008】

また、複合材レイアップ中の欠損トウを検出する方法が開示されている。本方法はまた、トウバンドを基板に貼付する前に基板を予熱すること、及びトウバンドを基板に貼付して複合材レイアップを形成することを含むことがある。本方法はまた追加的に、トウバンドが基板に貼付される間に複合材レイアップのリアルタイム熱画像を生成すること、及びリアルタイム熱画像に基づいてトウが欠損しているかどうかを決定することを含むことがある。

20

【0009】

特徴、機能及び利点は、本開示のさまざまな実施形態において独立して達成可能であり、又は、以下の説明及び図面を参照して更なる詳細が理解可能である更に他の実施形態において組み合わされてもよい。

【0010】

本開示のこれらの特徴及び他の特徴は、図面を参照することにより明確となり、全体を通して類似の参照番号は類似の部分を指す。

30

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】トウバンドをツールに貼付して複合材レイアップを形成する、自動纖維配置マシンの斜視図である。

【図2】纖維配置ヘッドの圧縮ローラの後方に位置付けられる赤外線カメラを図解する自動纖維配置マシンの側面図である。

【図3】纖維配置ヘッドによって貼付される複合材レイアップの基準熱画像の図解である。

【図4】赤外線カメラによって生成されるリアルタイム熱画像の図で、複合材レイアップのトウバンドの1つの欠損トウを図解している。

【図5】複合材積層物中のプライの深さに位置付けられる欠損トウバンドを図解する複合材レイアップの側面断面図である。

40

【図6】トウ検出システムを図解するブロック図である。

【図7】欠損トウの検出方法に含まれ得る一又は複数の操作を有するフロー図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

ここで、本開示の種々の実施形態の例示を目的とする図面を参照すると、図1は、トウバンド160の欠損トウ194(図4)を検出するためのトウ検出システム100の斜視図である。トウ検出システム100は、プリプレグトウバンド160又はプリプレグ複合材テープを基板166に貼付して、複合材部品の複合材レイアップ164を形成するための自動纖維配置マシン150に実装されてもよい。基板166は、固定ツール168又は

50

回転マンドレル（図示せず）のツール表面を含み得る、或いは基板 166 は予め積層されたトウバンド 160 のコース 162 を含み得る。自動繊維配置マシン 150 は、トウ 154 を基板 166 に貼付するための一又は複数の繊維配置ヘッド 152 を含み得る。

【0013】

上に示したように図 1 を参照すると、トウバンド 160 の各々は、複数の個別のトウ 154 からなることがある。トウ 154 の各々は、樹脂被覆強化繊維の束として形成されてもよい。各トウ 154 は、約 0.12 ~ 0.50 インチの範囲の比較的小さな幅又は直径で提供されることがあるが、より大きな幅も可能である。トウ 154 は一又は複数のスプール（図示せず）から供給され、図示のようにトウバンド 160 にトウ 154 を揃えるため、トウコリメータ 153 に通される。

10

【0014】

トウバンド 160 は、コース 162 を基板 166 上に貼付するようにプログラムされたシーケンスに従って、トウバンド 160 の起動停止運動を制御するため、一対の再起動ローラ 170 の間を通過することがある。コース 162 は、図 1 に図解されているように、互いに平行な配置で貼付されてもよい。トウバンド 160 は、各コース 162 の終端でトウ 154 を切断するように構成されているトウカッター及びクランプ機構を通過することもある。トウバンド 160 の新しい端部は、圧縮ローラ 156 に向かって再起動ローラによって押圧されてもよい。圧縮ローラ 156 は、トウバンド 160 を基板 166 に貼付し得る。圧縮ローラ 156 は、圧縮ローラ 156 がツール 168 の表面に沿って移動するにつれて、トウバンド 160 を基板 166 上に押圧するため、トウバンド 160 に圧縮圧を印加し得る。

20

【0015】

図 1 では、繊維配置ヘッド 152 は、基板 166 の温度を上昇させるための加熱装置 174 を含み得る。加熱装置 174 は、トウバンド 160 が最初に基板 166 に接触する場所の前方に位置付けられてもよい。これに関連して、加熱装置 174 は、トウバンド 160 が基板 166 に対して圧迫される圧縮ローラ 156 の前方に位置付けられてもよい。ローラの前方は、繊維配置ヘッド 152 の前進運動の方向に対して定義される。

【0016】

加熱装置 174 は、トウバンド 160 が基板 166 に接触する前に、基板 166 の表面を予熱するように構成されてもよい。基板 166 の熱は、トウバンド 160 と基板 166 と間の連結又は接着を高め得る。トウバンド 160 での連結を高めることによって、複合材部品のレイアップのプロセスの間に、個々のトウ 154 は基板 166 上で位置が維持され得る。加熱装置 174 は、基板 166 を加熱する及び/又はトウバンド 160 と基板 166 との接触の前にトウバンド 160 を予熱するための赤外線加熱器 178 など、放射加熱器 176 として提供されてもよい。しかしながら、加熱装置 174 は、強制熱風加熱器 180 などの代替的な構成で提供されてもよい。

30

【0017】

図 1、2 を参照すると、自動繊維配置マシン 150 は赤外線カメラ 182 を含み得る。赤外線カメラ 182 は、繊維配置ヘッド 152 に装着され、トウバンド 160 を基板 166 に貼付する間に、複合材レイアップ 164 のリアルタイム熱画像 188 を生成するように構成されてもよい。一実施形態では、赤外線カメラ 182 は、繊維配置ヘッド 152 がツール 168 に沿って移動するにつれて、複合材レイアップ 164 のリアルタイム熱画像 188 を記録するように構成されてもよい。これに関連して、赤外線カメラ 182 は、トウバンド 160 が基板 166 に対して圧迫される場所の後方に位置付けられてもよい。圧縮ローラ 156 を有する繊維配置ヘッド 152 の実施形態に関して、赤外線カメラ 182 は繊維配置ヘッド 152 の前進運動の方向に対して、圧縮ローラ 156 の後方に位置付けられてもよい。

40

【0018】

図 2 では、赤外線カメラ 182 は、トウバンド 160 が圧縮ローラ 156 によって配置される領域に、複合材レイアップ 164 の視野（図示せず）を捕捉するように構成されて

50

もよい。このように、赤外線カメラ 182 は、赤外線加熱器 178 による基板 166 の加熱に応答して、トウバンド 160 の画像を記録してもよい。これに関連して、赤外線加熱器 178 は、ツール 168 表面に予め貼付されているトウバンド 160 を加熱してもよい。赤外線カメラ 182 の視野は、好ましくは少なくともトウバンド 160 の幅を捕捉する。例えば、赤外線カメラ 182 は、トウ 154 の各々が約 0.5 インチ以上のトウ 154 幅で、トウバンド 160 の全幅が約 8 インチとなるようなトウを有するトウバンド 160 の実質的な大部分を捕捉し得る視野を有することができる。しかしながら、赤外線カメラ 182 は、任意の大きさのトウバンド幅を捕捉し得る視野を有してもよい。

【0019】

赤外線カメラ 182 は、纖維配置ヘッド 152 がツール 168 に沿って移動するにつれて、トウバンド 160 のリアルタイム熱画像 188 を表示するため、図 2 に示すようにディスプレイ装置 110 と通信可能に結合されてもよい。対角線長が 14 インチのモニタなど、比較的大きなディスプレイ装置 110 では、欠損トウ 194 の熱画像がディスプレイ装置 110 上で約 0.75 インチの幅で表示され得るように、約 8 インチのトウバンド幅は少なくとも約 50 % 拡大されてもよい。ディスプレイ装置 110 は、纖維配置マシン 150 のオペレータが見るように構成されてもよい。比較的高い解像度の赤外線カメラ 182 で、リアルタイム熱画像 188 を拡大すると、リアルタイム熱画像 188 の目視検査（例えば、人の眼による）などによるトウバンド 160 中の欠損トウ 194 の検出は、トウバンド 160 の残存部分に対する欠損トウ 194 の領域の熱の痕跡 190 の局所的な差異 192 を明らかにし得る。これに関連して、本明細書で開示されているトウ検出システム 100 は、欠損トウ 194 を検出するための従来の方法と比較して、大幅な改善を示している。

10

【0020】

図 2 において、一実施形態では、赤外線カメラ 182 は、ディスプレイ装置 110 も結合され得るプロセッサ 102（例えば、コンピュータ）と通信可能に結合されてもよい。プロセッサ 102 は、キーボード、グラフィカルユーザインターフェースなどのユーザインターフェース 108、或いは自動纖維配置マシン 150 の動作中にカメラのズームや視野を変更することなど、オペレータがプロセッサ 102 とやりとりすること及び／又は赤外線カメラ 182 を制御することを可能にする他の装置を含み得る。一実施形態では、赤外線カメラ 182 は、トウ 154 を基板 166 に貼付する間に、連続的に、間欠的に、或いは定期的に自動動作するように構成されてもよい。

20

【0021】

更なる実施形態では、ユーザインターフェース 108 はオペレータによる赤外線カメラ 182 の手動制御を促進し得る。例えば、ユーザインターフェース 108 は、トウバンド 160 を基板 166 に貼付する間に、複合材レイアップ 164 のリアルタイム熱画像 188 の記録を任意の点で開始及び停止するなど、想定されるカメラの操作又は制御を促すことがある。プロセッサ 102 はまた、自動纖維配置マシン 150 の事前にプログラムされたトウ貼付シーケンスの手動による無効操作を促進するように構成されてもよい。例えば、ディスプレイ装置 110 上での複合材レイアップ 164 のリアルタイム熱画像 188 の目視観測によって、欠損トウ 194 が検出されると、オペレータは欠損トウ 154 の処理を可能にするため、纖維配置マシン 150 の操作を中断又は一時的に停止してもよい。

30

【0022】

プロセッサ 102 は、自動纖維配置マシン 150 の動作中などに赤外線カメラ 182 によって記録されたリアルタイム熱画像 188（例えば、ビデオ）をオペレータが目視観察できるようにするため、複合材レイアップ 164 の一又は複数の熱画像を表示するためのディスプレイ装置 110 を含み得る。プロセッサ 102 は付加的に、リアルタイム熱画像 188（図 4）の複合材レイアップ 164 の熱の痕跡 190 を、以下で説明するように基準熱画像 186（図 3）の複合材レイアップ 164 の熱の痕跡 190 と比較することによって、トウ 154 がトウバンド 160 から欠損しているかどうかを決定するように構成されてもよい。

40

50

【0023】

図3、4を参照すると、図3には複合材レイアップ164の基準熱画像186が示されている。図4には、纖維配置ヘッド152の圧縮ローラ156の後方に装着された赤外線カメラ182によって記録される、複合材レイアップ164のリアルタイム熱画像188が示されている。図3では、基準熱画像186中の複合材レイアップ164は、纖維配置ヘッド152によってツール168上に形成され、図4のリアルタイム熱画像188によって表示される複合材レイアップ164と同一の構成を有することがある。一実施形態では、基準熱画像186は、同一の大きさ、形状、及び材料構成を有し、リアルタイム熱画像188に示される複合材レイアップ164中の少なくとも1つのトウバンド160と同じ方法で(例えば、隣接して)配置されるトウ154を含む、少なくとも1つのトウバンド160から成る複合材レイアップ164を示すことがある。10

【0024】

図3、4では、比較器104は、リアルタイム熱画像188の複合材レイアップ164の熱の痕跡190を、基準熱画像186の複合材レイアップ164の熱の痕跡190と比較することによって、トウ154がトウバンド160から欠損しているかどうかを決定するように構成され得る。例えば、図4のリアルタイム熱画像188に示されている複合材レイアップ164は欠損トウを含み得る。リアルタイム熱画像188では、欠損トウ194は、同一トウバンド160の残存部分の熱の痕跡190と比較して、欠損トウ194の領域中の熱の痕跡190の局所的な差異192として示されることがある。欠損トウ194の領域中の熱の痕跡190の差異は、欠損トウ194の両側(例えば、縦方向のエッジ)で、トウ154を通って上向きに放射される熱量と比較して、より大量の熱が下層基板166(例えば、ツール168の表面又は予め貼付されているトウ)から、欠損トウ194によるトウバンド160の間隙を通って上方に放射される結果として生ずることがある。20

【0025】

例えば、複合材レイアップ164の基準熱画像186では、トウバンド160の各々は、一般的に一様な(例えば、一様に黒い)色又は陰影を有し、これは、下層基板166からトウバンド160を通る上向きの実質的に一様な熱放射があることを示している。複合材レイアップ164のリアルタイム熱画像188の中では、欠損トウ194を有するトウバンド160は、一様でない色又は陰影を有することがある。より具体的には、欠損トウ194の領域は、赤外線カメラ182で記録されたリアルタイム熱画像188中では一様に黒く見えるトウバンド160の残存部分に対して、色又は陰影がより明るく見えることがある。30

【0026】

図4は、欠損トウ194の領域中のトウバンド160の熱の痕跡190に、局所的な差異192があることを示している。各欠損トウ194は、欠損トウの長さ198及び欠損トウの幅196を有する。欠損トウの幅196は、トウバンド160の残存トウ154の幅と同等である。上述のように、現在入手可能な赤外線カメラ182の解像度では、欠損トウ194は、上述の熱の痕跡190中の局所的な差異192に基づく、人の眼による目視検査によって、リアルタイム熱画像188中で検出可能である。ライン上での人手による検出はまた、上述のように、赤外線カメラ182によって記録されたリアルタイム熱画像188を拡大することによって効率化され得る。40

【0027】

図4では、プロセッサ102は、複合材レイアップ164の参照点204を参照することなどによって、欠損トウ194の配置及び/又は位置を特定するように構成され得る。例えば、参照点204は、トウレイダウンプログラム106に関連付けられた基準座標系208の所定の縦配置及び/又は横配置を含み得る。トウレイダウンプログラム106は、トウバンド160のコース162を基板166に貼付するため、自動纖維配置マシン150の操作を制御するコンピュータ可読命令を有する数値制御(NC)プログラムなどのコンピュータプログラムを含み得る。別の実施形態では、トウレイダウンプログラム1050

6 は、纖維配置ヘッド 152 を操作するための NC プログラムを含み得る。プロセッサ 102 は、NC プログラムに関連付けられた参照点 204 に関して、欠損トウ 194 の両端部の場所を特定するように構成され得る。一実施形態では、参照点 204 は、複合材レイアップ 164 に関連付けされ得る構造的特徴 206 を含み得る。例えば、胴体のバレル部分の外板を生成するため、マンドレル上の複合材レイアップ 164 では、複合材レイアップ 164 中の欠損トウ 194 の場所は、外板が取り付けられるストリンガー又はフレームステーションに対して特定され得るこれに関連して、プロセッサ 102 は、トウレイダウンプログラム 106 に対して欠損トウ 194 の場所を指示するように構成されてもよい。

【0028】

図 5 を参照すると、図 4 の欠損トウバンド 160 を図解する複合材レイアップ 164 の側面断面図が示され、欠損トウバンド 160 は複合材レイアップ 164 中のプライの深さ 212 に位置付けられている。一実施形態では、赤外線カメラ 182 は、タイムスタンプ 202 (図 2) を赤外線カメラ 182 によって記録されたリアルタイム熱画像 188 と共に記録するように構成されてもよい。これに関連して、赤外線カメラ 182 は、複合材レイアップ 164 のリアルタイム熱画像 188 を記録する間に、時間を連続的に記録するように構成されてもよい。一実施形態では、タイムスタンプ 202 は、複合材レイアップ 164 のリアルタイム熱画像 188 と共に、ディスプレイ装置 110 上に表示されてもよい。欠損トウ 194 が検出されると、プロセッサ 102 は、タイムスタンプ 202 をプライの深さ 212 に関連付けるように構成されてもよい。一実施形態では、プライの深さ 212 は、プライスタック 214 の表面の下のプライの場所に関して定義されてもよい。プライスタック 214 は、纖維配置ヘッド 152 を制御する NC プログラムに関連付けられた積層シーケンス 200 によって定義されてもよい。

【0029】

レイアッププロセス中の後の段階で、欠損トウ 194 によって引き起こされた陥凹が複合材レイアップ 164 中に検出された場合には、レイアップシーケンス中でトウ 194 が欠損した時点 (例えば、タイムスタンプ 202) を決定するため、リアルタイム熱画像 188 を記録したビデオを再閲覧することができる。タイムスタンプ 202 (図 2) は、NC プログラムに関連する積層シーケンス 200 中のプライの位置に関連付けられる。再作業は、既存のプライ材料を取り除き、層間修復を実施することなく、欠損トウ 194 の領域内で、複合材レイアップ 164 表面上にトウ 154 のオーバーレイを追加することによって、実施され得る。

【0030】

既に示したように、プロセッサ 102 は、欠損トウ 194 のプライの深さ 212 に対応する複合材レイアップ 164 中の欠損トウ 194 の縦位置 (図示せず) 及び / 又は横位置 (例えば、図 4 のコース配置 210) を特定するように構成され得る。例えば、胴体のバレル部分のレイアップ中には、欠損トウ 194 のリアルタイム熱画像 188 のタイムスタンプ 202 は、プライシーケンス 216 及びバレル部分の欠損トウ 194 を示し得る。このように、プロセッサ 102 は、欠損トウの場所を正確に特定し、欠損トウを検出する従来の方法を使用して要求される再作業量と比較して、複合材レイアップ 164 上での再作業量を低減し得る手段を提供する。上述のように、このような再作業は、欠損トウ 194 の領域に重なり合っている又は複数の複合プライの除去、及び欠損トウ 194 の領域を設計許容誤差の範囲内に収めるため、複合パッチでプライを置き換えることを要求し得る。

【0031】

図 6 を参照すると、自動纖維配置マシン 150 などの上の複合材レイアップ 164 中の欠損トウ 194 を検出するためのトウ検出システム 100 のブロック図が示されている。図 6 では、自動纖維配置マシン 150 は、纖維配置ヘッド 152 によって基板 166 に貼付されたトウバンド 160 のリアルタイム熱画像 188 に関して上記に示されているように、赤外線カメラ 182 を含み得る。自動纖維配置マシン 150 は、記憶装置 (図示せず) に保存され、纖維配置ヘッド 152 の操作を制御するプロセッサ 102 と通信可能に結

10

20

30

40

50

合されているトウレイダウンプログラム 106 によって制御されうる。プロセッサ 102 は、上述のように、複合材レイアップ 164 のリアルタイム熱画像 188 を複合材レイアップ 164 の基準熱画像 186 と比較するための比較器 104 を含み得る。図 2 に示すように、リアルタイム熱画像 188 は、任意選択のタイムスタンプ 202 と共に、ディスプレイ装置 110 上に表示されてもよい。プロセッサ 102 は、赤外線カメラの操作及び／又は纖維配置マシン 150 の操作を制御するためのユーザインターフェース 108 を含み得る。

【0032】

図 7 を参照すると、トウバンド 160 中の欠損トウ 194 を検出する方法 300 の一実施形態に含まれ得る一又は複数の操作を図解するフロー図が示されている。本方法はまた、テープ積層操作での欠損テープを検出するために実装され得る。

10

【0033】

図 7 の方法 300 のステップ 302 は、トウ 154 が基板 166 に貼付される点 158 の前方の場所で基板 166 を予熱することを含み得る。例えば、予熱は、纖維配置ヘッド 152 の圧縮ローラ 156 の直前の場所で起こり得る。ステップ 302 は、樹脂を加熱するため、赤外線加熱器 178 などの放射加熱器 176 を使用して、基板 166 を予熱することを含み得る。方法は、トウバンド 160 の連結を改善するため、複合材レイアップ 164 のトウバンド 160 を基板 166 に貼付する前に、基板 166 を予熱することを含んでもよい。基板 166 は、ツール 168 の表面を含むことがあり、或いは基板 166 は予め貼付されたトウバンド 160 を含むことがある。

20

【0034】

図 7 の方法 300 のステップ 304 は、トウバンド 160 を基板 166 に貼付することを含むことがある。これに関連して、方法は、纖維配置ヘッド 152 を使用してトウバンド 160 を貼付することを含むことがある。例えば、図 2 に示すように、トウバンド 160 は、圧縮ローラ 156 でトウバンド 160 を基板 166 に押圧又は圧迫することによって、基板 166 に貼付されてもよい。これに関連して、圧縮ローラ 156 は、複合材レイアップ 164 の部分的な圧密化を促進し得る。

【0035】

図 7 の方法 300 のステップ 306 は、トウバンド 160 が基板 166 に貼付される間に、複合材レイアップ 164 のリアルタイム熱画像 188 を生成することを含み得る。一実施形態では、方法は、赤外線カメラ 182 を使用して、リアルタイム熱画像 188 を生成することを含み得る。これに関連して、方法は、トウ 154 が基板 166 に貼付される点 158 の後方に赤外線カメラ 182 を位置付けることを含み得る。例えば、ステップ 306 は、ヘッドの運動方向 184 に対して纖維配置ヘッド 152 の圧縮ローラ 156 の後方に赤外線カメラ 182 を位置付けることを含んでもよい。本方法は、纖維配置ヘッド 152 がヘッドの運動方向 184 に沿って移動している間に、リアルタイム熱画像 188 を生成することを含み得る。赤外線カメラ 182 は、上述のように連続的に、間欠的に、又は手動の指示に基づいて、リアルタイム熱画像 188 を記録又は生成するように構成されてもよい。

30

【0036】

一実施形態では、本方法は、赤外線カメラ 182 に結合されたディスプレイ装置 110 上にリアルタイム熱画像 188 を表示することを含み得る。本方法は、図 4 に関連して上述したように、欠損トウ 194 を示し得るトウバンド 160 内の熱の痕跡 190 中の局所的な差異 192 に関して、複合材レイアップ 164 のリアルタイム熱画像 188 を人の眼で目視検査すること（すなわち、手動検査）を含み得る。

40

【0037】

図 7 の方法 300 のステップ 308 は、リアルタイム熱画像 188 を複合材レイアップ 164 の基準熱画像 186 と比較することを含む。例えば、本方法は、コンピュータに基づくシステム 100 のプロセッサ 102 の一部を形成する比較器 104 の使用を含むことがある。比較器 104 は、複合材レイアップ 164 の基準熱画像 186 に対する、複合材

50

レイアップ 164 のリアルタイム熱画像 188 の比較解析を実施し得る。これに関連して、本方法は、基準熱画像 186 の複合材レイアップ 164 の熱の痕跡 190 に対する、複合材レイアップ 164 の熱の痕跡 190 の局所的な差異 192 に関して、複合材レイアップ 164 のリアルタイム熱画像 188 を自動検査することを含み得る。

【0038】

図 7 の方法 300 のステップ 310 は、リアルタイム熱画像 188 と基準熱画像 186 との比較に基づいて、トウ 154 がトウバンド 160 から欠損しているかどうかを決定することを含み得る。本方法は更に、複合材レイアップ 164 中の一又は複数のトウバンド 160 が、リアルタイム熱画像 188 中に実質的に一様な熱の痕跡 190 を含むかどうかを決定することを含み得る。リアルタイム熱画像 188 の一様でない熱の痕跡 190 は欠損トウ 194 を示し得る。

10

【0039】

更なる実施形態において、本方法は、トウレイダウンプログラム 106 に対する欠損トウ 194 の場所を表示することを含み得る。例えば、本方法は、欠損トウ 194 が検出されたときにタイムスタンプ 202 を記録すること、及びタイムスタンプ 202 を複合材レイアップ 164 中の欠損トウ 194 の位置に関連付けることを含み得る。例えば、タイムスタンプ 202 は、積層シーケンス 200 の欠損トウ 194 のプライの深さ 212、及び上述の欠損トウ 194 の縦又は横位置に関連付けられてもよい。

【0040】

有利には、本明細書で開示されているシステム及び方法は、トウバンド 160 を基板 166 に貼付した直後に、複合材レイアップ 164 中の欠損トウ 194 を検出するための手段を提供し、これによって、欠損トウ 194 に貼付される複合材料の量を最小にすることができる。これに関連して、本明細書に開示されているシステム及び方法は、欠損トウ 194 の結果として、処理及び起こり得る再作業を保留にする纖維配置ヘッド 152 の操作を自動又は手動により一時停止する選択肢を提供する。更に、本明細書に開示されているシステム及び方法は、複合材レイアップ 164 中の欠損トウ 194 の場所を正確に特定するための手段を提供し、そうでない場合に要求される再作業の量を最小にできる。

20

【0041】

本開示の更なる修正及び改良は、当業者には明らかであろう。したがって、本明細書に説明され図示されている、部品の特定の組み合わせは、本開示のある種の実施形態のみを表すことを意図し、本開示の趣旨及び範囲に含まれる代替的な実施形態又は装置を限定することを意図していない。

30

【0042】

クレームされる、もしくはクレームされない、本開示による内容の説明のための非網羅的実施例は、次の条項において提供される。

(条項 1)

トウバンド中の欠損トウを検出するためのシステムであって、
トウバンドを基板に貼付して複合材レイアップを形成するように構成された纖維配置ヘッドと、

40

前記纖維配置ヘッドを使用して前記トウバンドを貼付する前に前記基板を予熱するように構成された加熱装置と、

前記纖維配置ヘッドに装着され、前記トウバンドを前記基板に貼付する間に、前記複合材レイアップのリアルタイム熱画像を生成するように構成された赤外線カメラとを備えるシステム。

(条項 2)

前記複合材レイアップの前記リアルタイム熱画像を表示するように構成されたディスプレイ装置を更に備える、条項 1 に記載のシステム。

(条項 3)

前記赤外線カメラは、前記纖維配置ヘッドの前進運動の方向に対して、圧縮ローラの後

50

方に位置付けられる、条項 1 に記載のシステム。

(条項 4)

前記加熱装置は、前記纖維配置ヘッドの前進運動の方向に対して、圧縮ローラの前方に位置付けられる、条項 1 に記載のシステム。

(条項 5)

前記赤外線カメラと通信可能に結合され、トウレイダウンプログラムに対して欠損トウの場所を指示するように構成されたプロセッサを更に備える、条項 1 に記載のシステム。

(条項 6)

前記赤外線カメラは、欠損トウが検出されると、タイムスタンプを記録するように構成されており、

10

前記プロセッサは、前記タイムスタンプを前記複合材レイアップ中の前記欠損トウの位置に関連付けるように構成されている、条項 5 に記載のシステム。

(条項 7)

前記プロセッサは前記タイムスタンプを積層シーケンス中のプライの深さに関連付けるように構成されている、条項 6 に記載のシステム。

(条項 8)

前記リアルタイム熱画像での前記複合材レイアップの熱の痕跡と、基準熱画像の複合材レイアップの熱の痕跡とを比較することによって、トウが前記トウバンドから欠損しているかどうかを決定するように構成されている比較器を更に備える、条項 1 に記載のシステム。

20

(条項 9)

トウバンド中の欠損トウを検出する方法であって、
基板を予熱するステップと、

前記トウバンドを前記基板に貼付して複合材レイアップを形成するステップと、
前記トウバンドが前記基板に貼付される間に、前記複合材レイアップのリアルタイム熱画像を生成するステップと、

前記リアルタイム熱画像に基づいて、トウが欠損しているかどうかを決定するステップと
を含む方法。

(条項 10)

30

前記リアルタイム熱画像を生成する前記ステップは、
赤外線カメラを使用して前記リアルタイム熱画像を生成することを含む、条項 9 に記載の方法。

(条項 11)

前記リアルタイム熱画像を生成する前記ステップは、
纖維配置ヘッドの圧縮ローラの後方に装着された前記赤外線カメラを使用して、前記リアルタイム熱画像を生成することを含む、条項 10 に記載の方法。

(条項 12)

前記リアルタイム熱画像を生成する前記ステップは、
ヘッドの運動方向に沿って、前記纖維配置ヘッドを移動させる間に、前記リアルタイム熱画像を生成することを含む、条項 11 に記載の方法。

40

(条項 13)

トウが欠損しているかどうかを決定する前記ステップは、
ディスプレイ装置上で、前記複合材レイアップの熱の痕跡中の局所的な差異を求めて、
前記リアルタイム熱画像を目視検査することを含む、条項 9 に記載の方法。

(条項 14)

前記熱の痕跡中の局所的な差異を求めて、前記リアルタイム熱画像を検査する前記ステップは、

前記トウバンドが実質的に一様な熱の痕跡を有するかどうかを決定することを含む、条項 13 に記載の方法。

50

(条項 15)

トウが欠損しているかどうかを決定する前記ステップは、
前記複合材レイアップの前記リアルタイム熱画像の熱の痕跡と、前記複合材レイアップの基準熱画像の熱の痕跡とを比較することを含む、条項 9 に記載の方法。

(条項 16)

欠損トウが検出されると、タイムスタンプを記録するステップと、
前記タイムスタンプを前記複合材レイアップ中の前記欠損トウの位置に関連付けるステップと
を更に含む、条項 9 に記載の方法。

(条項 17)

前記タイムスタンプを積層シーケンス中のプライの深さに関連付けるステップを更に含む、条項 16 に記載の方法。

(条項 18)

前記基板を予熱する前記ステップは、
前記トウが前記基板に貼付される点の直前で、前記基板の領域を加熱するように構成されている加熱装置を使用して、前記基板を予熱することを含む、条項 9 に記載の方法。

(条項 19)

前記基板を予熱する前記ステップは、
放射加熱器及び強制熱風加熱器のうちの少なくとも 1 つを使用して、前記基板を予熱することを含む、条項 9 に記載の方法。

(条項 20)

トウバンド中の欠損トウを検出するためのシステムであって、
トウバンドを基板に貼付して複合材レイアップを形成するように構成された纖維配置ヘッドと、
圧縮ローラの前方に位置付けられ、圧縮ローラを使用してトウバンドを貼付する前に前記基板を予熱するように構成された赤外線加熱器と、

前記纖維配置ヘッドに装着され、前記トウバンドを前記基板に貼付する間に、複合材レイアップのリアルタイム熱画像を生成するように構成された赤外線カメラと

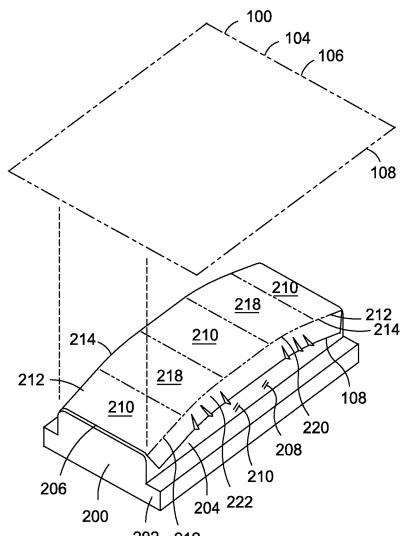
前記赤外線カメラに結合され、前記複合材レイアップの前記リアルタイム熱画像を表示するように構成されたディスプレイ装置と
を備えるシステム。

10

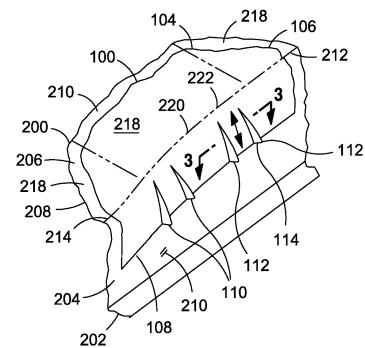
20

30

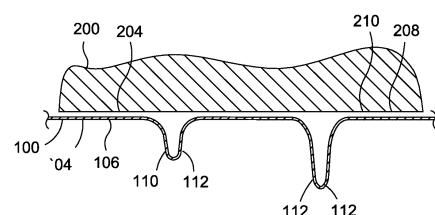
【 図 1 】



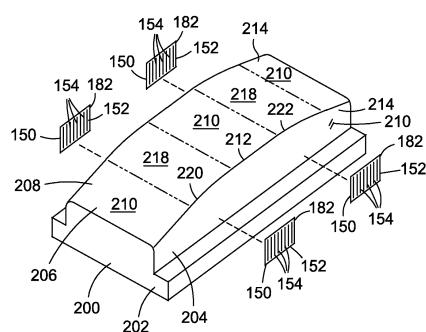
【 図 2 】



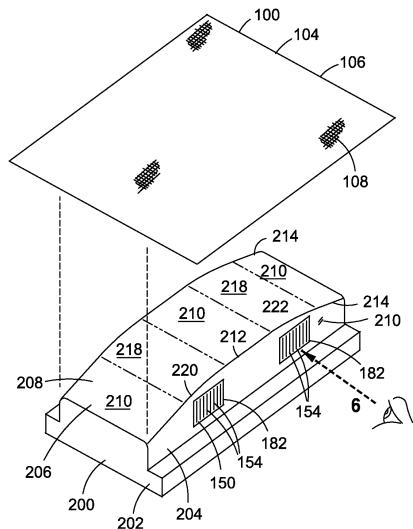
【図3】



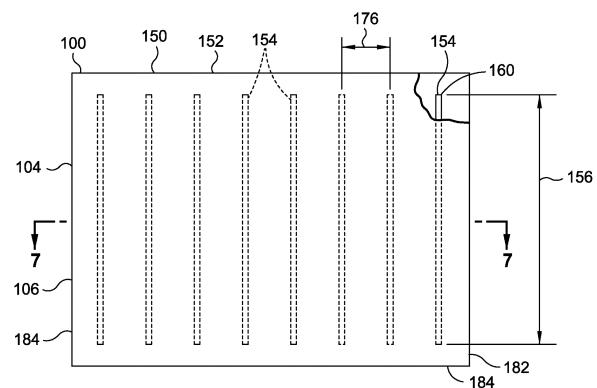
【 四 4 】



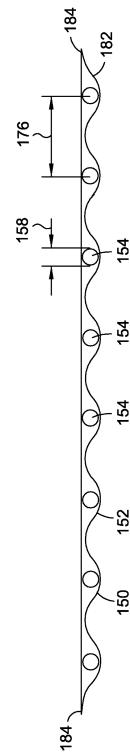
【図5】



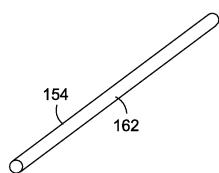
【図6】



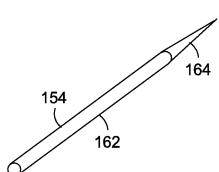
【図7】



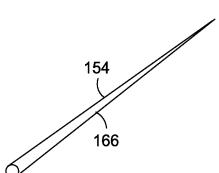
【図8】



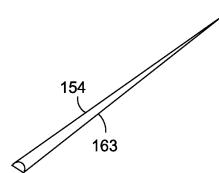
【図9】



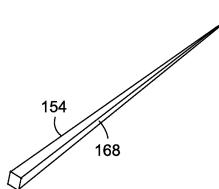
【図10】



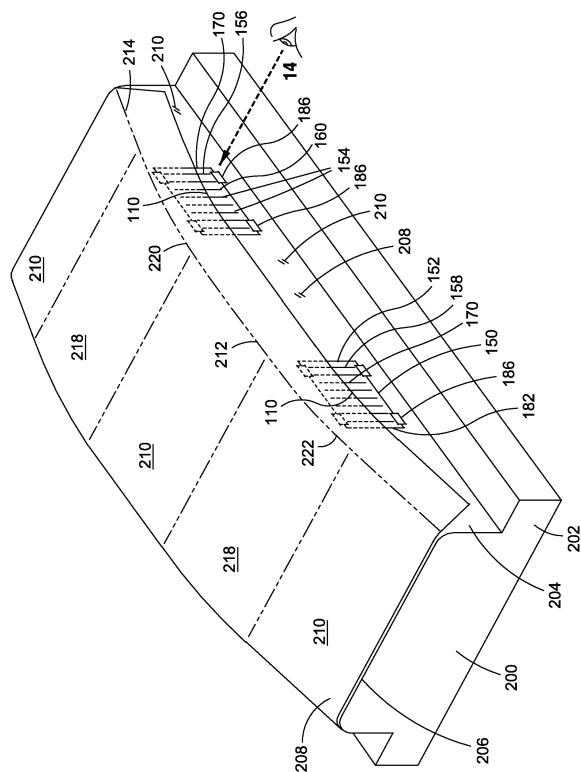
【図11】



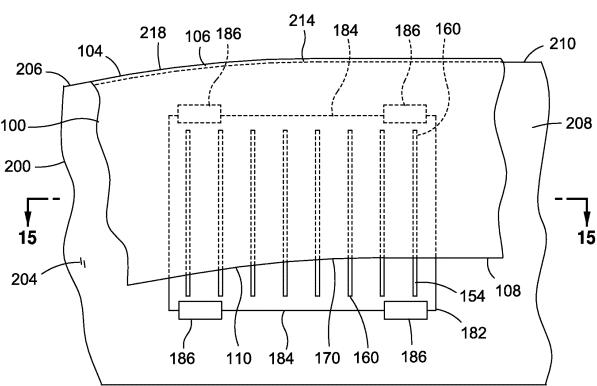
【図12】



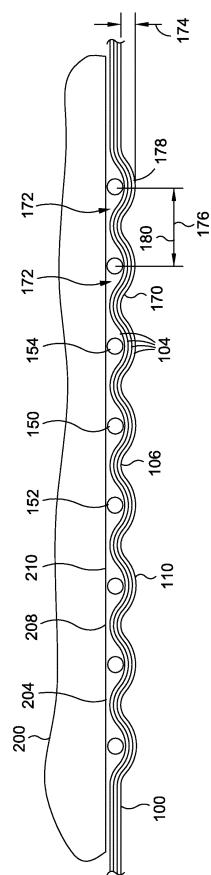
【図13】



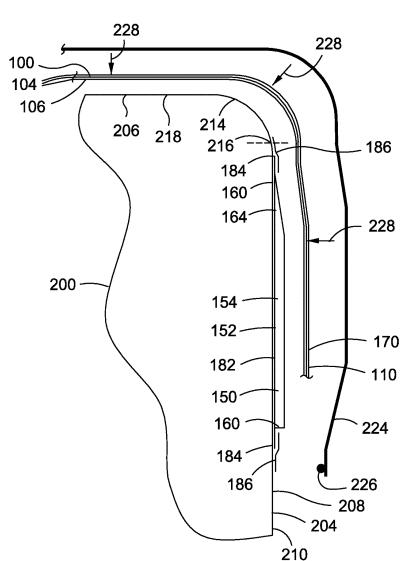
【図14】



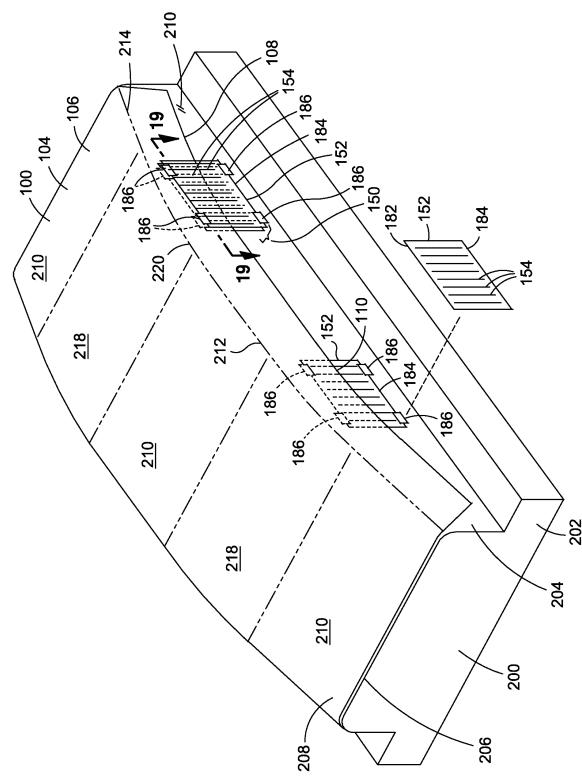
【図15】



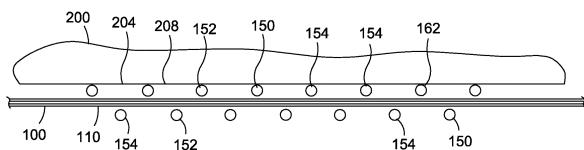
【図16】



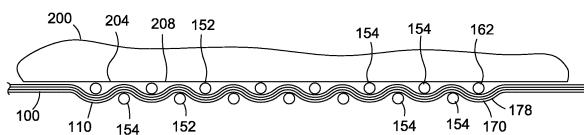
【図 17】



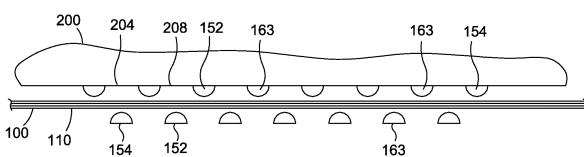
【図18】



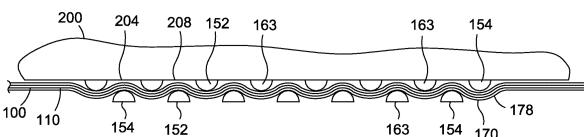
【図19】



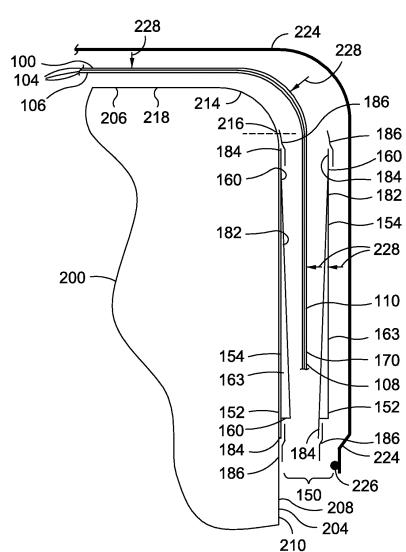
【 図 2 0 】



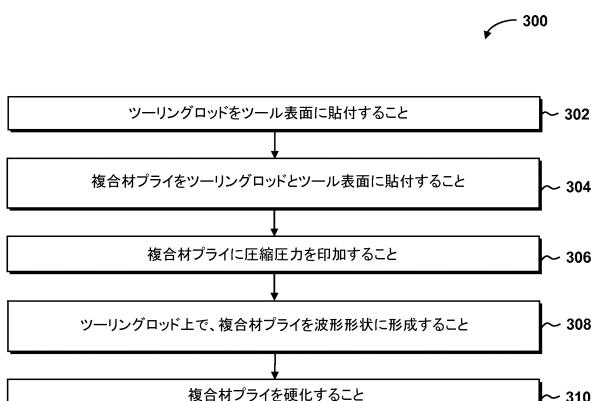
【 図 21 】



【図22】



【 図 2 3 】



フロントページの続き

(72)発明者 スチュアート, サミュエル アール.
アメリカ合衆国 イリノイ 60606, シカゴ, ノース リバーサイド プラザ 100

審査官 一宮 里枝

(56)参考文献 特開2005-049344 (JP, A)
特開2008-256674 (JP, A)
特表2004-512180 (JP, A)
特表2005-508491 (JP, A)
特開2010-151666 (JP, A)
特開2005-262881 (JP, A)
米国特許出願公開第2006/0109454 (US, A1)
米国特許出願公開第2006/0191622 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B29C 70/00 - 70/88
B29C 67/00
G01N 21/84 - 21/958