

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6785095号
(P6785095)

(45) 発行日 令和2年11月18日 (2020. 11. 18)

(24) 登録日 令和2年10月28日 (2020. 10. 28)

(51) Int. Cl.	F I
B 2 9 C 70/34 (2006. 01)	B 2 9 C 70/34
B 2 9 C 39/38 (2006. 01)	B 2 9 C 39/38
B 2 9 C 39/24 (2006. 01)	B 2 9 C 39/24

請求項の数 7 外国語出願 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2016-169214 (P2016-169214)	(73) 特許権者	500520743
(22) 出願日	平成28年8月31日 (2016. 8. 31)		ザ・ボーイング・カンパニー
(65) 公開番号	特開2017-114110 (P2017-114110A)		The Boeing Company
(43) 公開日	平成29年6月29日 (2017. 6. 29)		アメリカ合衆国、60606-2016
審査請求日	令和1年8月29日 (2019. 8. 29)		イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
(31) 優先権主張番号	14/877, 469	(74) 代理人	110002077
(32) 優先日	平成27年10月7日 (2015. 10. 7)		園田・小林特許業務法人
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(72) 発明者	バーンズ, ローレン エー.
			アメリカ合衆国 カリフォルニア 92647, ハンティントンビーチ, ボルサ アヴェニュー 5301, シー/オーザ・ボーイング カンパニー

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 独立制御可能な温度ゾーンの多次元アレイを用いる複合材製造

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複合構造体 (202) を製造するシステム (200) であって、

複合構造体の構成要素を支持するように構成された表面 (212)、及び前記表面 (212) が分割されてできる複数の温度ゾーン (216) を提供するように構成された複数の加熱/冷却デバイス (214) を有するツール (204) であって、前記複数の加熱/冷却デバイス (214) 及びそれにより前記複数の温度ゾーン (216) が、多次元アレイに配列され、前記構成要素からの前記複合構造体 (202) の製造中に前記構成要素のうちの1つの構成要素の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するように独立に制御可能である、ツール (204) ;

空間的に分布した複数のそれぞれの点において前記構成要素の特性を感知し、それに対応するセンサデータを提供するように構成された複数のセンサ (206) であって、前記複数のセンサの各センサが、前記複数の温度ゾーンのそれぞれの温度ゾーンに関連付けられ、それぞれの温度ゾーンにおける前記複合構造体の前記特性を感知するように構成されている、複数のセンサ ;

前記複数のセンサ (206) に接続され、前記構成要素又は前記複合構造体の所望の製造品質を示す前記構成要素又は前記複合構造体の定められた品質目標を達成するための制御データを生成するように構成された機械学習アルゴリズムに前記センサデータを適用するように構成された計算デバイス (208) ; 並びに

前記計算デバイス (208) 及び前記ツールに接続され、前記構成要素又は前記複合構

造体を前記定められた品質目標へ進めるための前記制御データに従って、前記構成要素の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するために、前記複数の加熱／冷却デバイス（２１４）及びそれにより前記複数の温度ゾーン（２１６）を独立に制御するように構成されたコントローラ（２１０）、を備え、

前記構成要素からの前記複合構造体（２０２）の製造中の複数の時期に、前記複数のセンサ（２０６）が、前記特性を感知し、それに対応するセンサデータを提供するように構成され、前記計算デバイス（２０８）が、前記センサデータを前記機械学習アルゴリズムに適用するように構成され、前記コントローラ（２１０）が、前記複数の加熱／冷却デバイス（２１４）及びそれにより前記複数の温度ゾーン（２１６）を独立に制御するように構成され、前記機械学習アルゴリズムは、前記構成要素又は前記複合構造体が前記定められた品質目標に進むのを増進させることを、前記複数の時期にわたって学習する、システム。

10

【請求項２】

前記複合構造体の前記構成要素が、樹脂を予め含浸された又は樹脂を注入されるべき繊維のベッドを含み、前記複数の加熱／冷却デバイス（２１４）及びそれにより前記複数の温度ゾーン（２１６）が、前記樹脂の温度を局所的に加熱、冷却、又は維持するように独立に制御可能である、請求項１に記載のシステム。

【請求項３】

前記構成要素の前記特性が、前記樹脂の有無、温度、圧力若しくは硬化度、又は前記繊維のベッドの面外ゆがみである、請求項２に記載のシステム。

20

【請求項４】

前記複合構造体（２０２）の製造が、前記繊維のベッドに樹脂を注入するための前記繊維のベッドにわたる樹脂のフローを含み、前記構成要素又は前記複合構造体の前記定められた品質目標が、樹脂の前記フローのフロント（４０２）の所望の形状を含み、

前記機械学習アルゴリズムが、樹脂の前記フローの前記フロント（４０２）の前記所望の形状を達成するための制御データを生成するように構成され、前記コントローラ（２１０）が、前記樹脂の粘度を局所的に制御し、それにより樹脂の前記フローの前記フロント（４０２）を前記所望の形状に進路誘導するために、前記樹脂の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するように、前記複数の加熱／冷却デバイス（２１４）及びそれにより前記複数の温度ゾーン（２１６）を独立に制御するように構成される、請求項３に記載のシステム。

30

【請求項５】

前記構成要素の前記特性が、樹脂の有無であり、前記計算デバイスが、前記機械学習アルゴリズムに前記センサデータを適用するように構成されることが、少なくとも、

空間的に分布した前記複数のそれぞれの点において樹脂の有無を示す前記繊維のベッドのバイナリイメージビットマップを生成し、

前記ビットマップから樹脂の前記フローのフロントの輪郭を抽出して、一群のベクトル点を生成し、

前記一群のベクトル点のベクトル点に沿って、空間的に分布した前記複数のそれぞれの点のうちの少なくとも一部の各点における曲率を測定し、それにより、空間的に分布した前記複数のそれぞれの点のうちの少なくとも一部の各々においてペナルティ又は報酬を曲率の統計値に基づいて選択的に適用するように構成された機械学習アルゴリズムへの適用のための曲率の統計値を生成するように、構成されることを含む、請求項４に記載のシステム。

40

【請求項６】

前記機械学習アルゴリズムがペナルティ又は報酬を選択的に適用するように構成されることは、空間的に分布した前記複数のそれぞれの点のうちの少なくとも一部の各点について、ペナルティ又は報酬を、それぞれ、前記点における大きい曲率又は小さい曲率に対して選択的に適用するように構成されることを含み、前記機械学習アルゴリズムが、樹脂の前記フローの真っ直ぐなフロントの前記定められた品質目標を達成するための制御データ

50

を生成するように構成される、請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 7】

複合構造体を製造する方法であって、

ツールの表面上に複合構造体の要素を支持することであって、複数の加熱 / 冷却デバイスが、前記表面が分割されてできる複数の温度ゾーンを提供するように構成され、前記複数の加熱 / 冷却デバイス及びそれにより前記複数の温度ゾーンが、多次元アレイに配列され、構成要素からの前記複合構造体の製造中に構成要素のうちの 1 つの構成要素の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するように独立に制御可能である、支持すること (3 0 2) ;

複数のセンサによって、空間的に分布した複数のそれぞれの点において前記構成要素の特性を感知し、それに対応するセンサデータを提供すること (3 0 4) であって、前記複数のセンサの各センサは、前記複数の温度ゾーンのそれぞれの温度ゾーンに関連付けられ、それぞれの温度ゾーンにおける前記複合構造体の前記特性を感知するように構成されている、センサデータを提供すること ;

前記構成要素又は前記複合構造体の所望の製造品質を示す前記構成要素又は前記複合構造体の定められた品質目標を達成するための制御データを生成する機械学習アルゴリズムに前記センサデータを適用すること (3 0 6) ; 並びに

前記構成要素又は前記複合構造体を前記定められた品質目標へ進めるための前記制御データに従って、前記構成要素の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するように、前記複数の加熱 / 冷却デバイス及びそれにより前記複数の温度ゾーンを独立に制御すること (3 0 8) 、を含み、

前記特性を感知し、それに対応するセンサデータを提供すること、前記センサデータを前記機械学習アルゴリズムに適用すること、並びに前記複数の加熱 / 冷却デバイス及びそれにより前記複数の温度ゾーンを独立に制御することが、前記構成要素からの前記複合構造体の製造中の複数の時期において起こり、前記機械学習アルゴリズムは、前記構成要素又は前記複合構造体が前記定められた品質目標に進むのを増進させることを、前記複数の時期にわたって学習する、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1 】

本開示は、広くは、複合構造体の製造に関し、詳細には、独立に制御可能な温度ゾーンの多次元アレイを用いる複合構造体の製造に関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

航空機は、ますます多くの割合の複合材料を用いて設計及び製造されている。一部の航空機は、主要構造の 5 0 パーセント超が複合材料から作られ得る。複合材料は、航空機の重量を減少させるために、航空機に用いられる。この重量の減少は、最大積載量及び燃料効率などの性能特性を改善する。更に、複合材料は、航空機の様々な構成要素の耐用年数を長くする。

【 0 0 0 3 】

複合材料は、2 つ以上の異種の構成要素を結合することによって作られた、頑丈で軽量の材料である。例えば、複合材は、繊維と樹脂を含み得る。繊維と樹脂は、結合され、硬化されて、複合材料を形成する。

【 0 0 0 4 】

複合材料を用いることによって、航空機の一部が、大きなピース又はセクションで作られ得る。これは、一体化された構造と呼ばれる。例えば、航空機の胴体は、円筒形の複数のセクションで作られ、それらが組立てられて、航空機の胴体を形成し得る。他の例は、例えば、限定しないが、接合されて翼を形成する翼外板、スパン方向補剛材、スパー及び翼弦方向リブ、接合されて安定板を形成する安定板セクション、補剛材、フェアリング、操縦翼面、外板、外板セクション、ドア、ストラット、及び管状構造物を含む。

【 0 0 0 5 】

複合構成要素を製造するに際し、材料は、通常、モールドを用いて形成される。これらのモールドは、ツールとも呼ばれる。ツールは、複合材料がツール上に置かれたときに、複合構成要素のために所望の形状を維持するのに十分な剛性を有する。ツールは、複合材料を支持する剛性を提供するために、組成において金属であってもよいし、又は非金属であってもよい。

【 0 0 0 6 】

現在、製造される航空機の複合材の多くが、複合構成要素を硬化するために、オートクレーブを必要とする。プリプレグプライ内の樹脂は、通常、これらの樹脂が流れて硬化するのを可能にする化学反応を達成するために高い温度を必要とし、プライ圧密化を達成し、ポロシティとして知られる、プリプレグプライ内に含まれるガスを排出するために高い圧力を必要とする。大きな構成要素の場合には、構成要素及び処理用ツールを包含するために、大きなオートクレーブが必要とされる。

10

【 0 0 0 7 】

従来の複合材製造工程は、多くの場合、望ましくない不整合に遭遇し、これは、次に、歩留まりの低下、スクラップ及びリワークの増加、又は設計許容量の減少（構造上のロックダウン）から生じる性能／重量ペナルティをもたらし得る。よくある望ましくない不整合の例は、ポロシティ、スプリングバック及びたわみによる製造許容誤差、並びに圧密真空下での部品スタックにおける第一のプライダウン、又はその後のプライの付着及びリンクリングに関連する例を含む。従って、これらの問題に対処し、現行のやり方を改善し、現行のプロセス仕様の範囲内で働く潜在力を有する装置及び方法を有することが、望まれ得る。

20

【 発明の概要 】

【 0 0 0 8 】

本開示の例示的な実施形態は、複合構造体を製造する改良されたシステム及び方法に向けられており、これらは、オートクレーブ工程、脱オートクレーブ工程、及び樹脂注入工程を含む任意の適当な製造工程のための予め含浸され樹脂を注入されたプライに適用され得る。例示的な実施形態のシステム及び方法は、複合材の製造（又は製作）中に遭遇するよくある製造上の望ましくない不整合に対処し、歩留まりを改善し、スクラップ及びリワークを減少させ、又は設計許容量の減少（構造上のロックダウン）から生じる性能／重量ペナルティを減少させる。上記で示され、又は示唆されたように、システム及び方法によって対処され得る望ましくない不整合は、例えば、ポロシティ、スプリングバック及び反りによる製造許容誤差、圧密真空下でのプライのリンクリング、及び／又はツール上への第一のプライの付着に関連する不整合を含む。

30

【 0 0 0 9 】

例示的な実施形態は、工程内モニタリングセンサデータの記録を取る工程を提供する。このセンサデータは、機械学習原理に基づくソフトウェアアルゴリズムに入力され得る。このアルゴリズムは、製造中に複合構造体の構成要素（複数可）の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するために、温度ゾーンの多次元（二次元又は三次元）アレイ（画素化されたアレイ又は画素化された温度ゾーンと呼ばれることもある）を独立に制御するプログラム可能な論理を出力する。画素化されたゾーンの高次元の熱制御は、リアルタイムで異常に反応する能力を含む、複合構造体の製造品質を改善し得る（本書でリアルタイムとは、リアルタイム又はリアルタイムに近いことを指す）。

40

【 0 0 1 0 】

複合構造体の製造において、繊維のベッドが、樹脂を予め含浸されてもよいし、又は結合剤で結び付けられて、樹脂を注入されてもよい。例示的な実施形態は、樹脂粘度の能動的熱制御及び繊維のベッド（例えば、乾燥繊維強化材）の中への樹脂の注入中における樹脂フローフロントの有効な進路誘導によって、樹脂注入複合材のポロシティ及び注入時間を減少させる能力を有し得る。例示的な実施形態は、樹脂（予め含浸された繊維のベッドに対して）又は結合剤（樹脂が注入されるべき繊維のベッドに対して）の摩擦粘度を変化

50

させ、真空成形工程中のプライのリンクリングを減少させるために、温度を局所的に変更することができ得る。例示的な実施形態はまた、樹脂ポリマーの架橋結合によるプロセス誘起のひずみを局所的に変えるために、異なる温度ランプレートを適用することにより、積層板の非対称性によって引き起こされるスプリングバック及び反りに対抗することができ得る。更に、例示的な実施形態は、第一のプライをツール上にレイダウンするための、結合剤（樹脂が注入されるべき繊維のベッドに対して）又は樹脂（予め含浸された繊維のベッドに対して）の付着を補助するように、ツールを加熱することができ得る。

【0011】

それ故に、本開示は、限定しないが、以下の例示的な実施形態を含む。幾つかの例示的な実施形態において、複合構造体を製造するシステムが提供される。システムは、ツール、複数のセンサ、計算デバイス及びコントローラを備える。ツールは、複合構造体の構成要素を支持するように構成された表面を有する。ツールはまた、表面がそのように分割されるところの複数の温度ゾーンを提供するように構成された複数の加熱／冷却デバイスを有する。複数の加熱／冷却デバイス及びそれにより複数のゾーンが、多次元アレイに配列され、構成要素からの複合構造体の製造中に複数の構成要素のうちの1つの構成要素の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するように独立に制御可能である。複数のセンサは、空間的に分布した複数の点のそれぞれの点において構成要素の特性を感知し、それに対応するセンサデータを提供するように構成される。計算デバイスが、複数のセンサに接続され、構成要素又は複合構造体のための定められた品質目標を達成するための制御データを生成するように構成された機械学習アルゴリズムにセンサデータを適用するように構成される。そして、コントローラが、計算デバイス及びツールに接続され、構成要素又は複合構造体を定められた品質目標へ進めるための制御データに従って、構成要素の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するために、複数の加熱／冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンを独立に制御するように構成される。これらの例示的な実施形態において、構成要素から複合構造体を製造する間の複数の時期に、複数のセンサが、特性を感知し、それに対応するセンサデータを提供するように構成され、計算デバイスが、センサデータを機械学習アルゴリズムに適用するように構成され、コントローラが、複数の加熱／冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンを独立に制御するように構成され、機械学習アルゴリズムは、構成要素又は複合構造体が定められた品質目標に進むのを増進させることを、複数の時期にわたって学習する。すなわち、機械学習アルゴリズムは、定められた品質目標をより良く達成する制御データを生成するために、複数の時期にわたって学習し得る。

【0012】

前述の若しくは任意の以後の例示的な実施形態、又はそれらの任意の組合せのシステムの幾つかの例示的な実施形態において、複数のセンサのうちの各センサは、それぞれの温度ゾーンに関連付けられ、それぞれの温度ゾーンにおいて複合構造体の特性を感知するように構成される。

【0013】

任意の前述の若しくは任意の以後の例示的な実施形態、又はそれらの任意の組合せのシステムの幾つかの例示的な実施形態において、複合構造体の構成要素は、予め含浸された又は樹脂が注入されるべき繊維のベッドを含み、複数の加熱／冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンが、樹脂の温度を局所的に加熱、冷却、又は維持するように独立に制御可能である。

【0014】

任意の前述の若しくは任意の以後の例示的な実施形態、又はそれらの任意の組合せのシステムの幾つかの例示的な実施形態において、構成要素の特性は、樹脂の有無、温度、圧力若しくは硬化度、又は繊維のベッドの面外ゆがみである。

【0015】

任意の前述の若しくは任意の以後の例示的な実施形態、又はそれらの任意の組合せのシステムの幾つかの例示的な実施形態において、複合構造体の製造は、繊維のベッドに樹脂を注入するための繊維のベッドにわたる樹脂のフローを含み、構成要素又は複合構造体の

定められた品質目標は、樹脂のフローのフロントの所望の形状（フローフロントの所望の形状）を含み、これは、面内フローフロント又は厚さ方向フローフロントのいずれか又は両方であり得る。これらの例示的な実施形態において、機械学習アルゴリズムは、樹脂のフローのフロントの所望の形状を達成するための制御データを生成するように構成され、コントローラは、樹脂の粘度を局所的に制御し、それにより樹脂のフローのフロントを所望の形状に進路誘導するように、樹脂の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するために、複数の加熱／冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンを独立に制御するように構成される。

【 0 0 1 6 】

任意の前述の若しくは任意の以後の例示的な実施形態、又はそれらの任意の組合せのシステムの幾つかの例示的な実施形態において、構成要素の特性は、樹脂の有無である。これらの例示的な実施形態において、計算デバイスが、機械学習アルゴリズムにセンサデータを適用するように構成されることは、空間的に分布した複数の点のそれぞれの点において樹脂の有無を示す繊維のベッドのバイナリイメージビットマップを生成し、一群のベクトル点を生成するために、ビットマップから樹脂のフローの（面内及び／又は厚さ方向の）フロントの輪郭を抽出し、一群のベクトル点のベクトル点に沿って、空間的に分布した複数のそれぞれの点の少なくとも一部の各点における曲率を測定し、それにより、曲率の統計値に基づいて、空間的に分布した複数のそれぞれの点の少なくとも一部の各々においてペナルティ又は報酬を選択的に適用するように構成された機械学習アルゴリズムに適用するために曲率の統計値を生成するように、少なくとも構成されることを含む。

【 0 0 1 7 】

任意の前述の若しくは任意の以後の例示的な実施形態、又はそれらの任意の組合せのシステムの幾つかの例示的な実施形態において、機械学習アルゴリズムが、ペナルティ又は報酬を選択的に適用するように構成されることは、空間的に分布した複数のそれぞれの点の少なくとも一部の各点について、ペナルティ又は報酬を、それぞれ、その点における大きい曲率又は小さい曲率に対して選択的に適用するように構成されることを含み、機械学習アルゴリズムは、樹脂のフローの真っ直ぐなフロントの定められた品質目標を達成するための制御データを生成するように構成される。

【 0 0 1 8 】

任意の前述の若しくは任意の以後の例示的な実施形態、又はそれらの任意の組合せのシステムの幾つかの例示的な実施形態において、複合構造体の製造は、樹脂の硬化を含み、構成要素又は複合構造体に対する定められた品質目標は、複合構造体の所望の形状を含む。これらの例示的な実施形態において、機械学習アルゴリズムは、複合構造体の所望の形状を達成するための制御データを生成するように構成され、コントローラは、樹脂の温度勾配及び硬化度を、並びにそれにより、複合構造体の任意のスプリングバックに対抗するための複合構造体内部のプロセス誘起のひずみを局所的に制御するように、樹脂の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するために、複数の加熱／冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンを独立に制御するように構成される。

【 0 0 1 9 】

任意の前述の若しくは任意の以後の例示的な実施形態、又はそれらの任意の組合せのシステムの幾つかの例示的な実施形態において、複合構造体の構成要素は、各々のプライが樹脂を予め含浸されている又は結合剤で結び付けられている、複数の繊維のプライを含み、複数の加熱／冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンが、樹脂又は結合剤の温度を局所的に加熱、冷却、又は維持するように独立に制御可能である。これらの例示的な実施形態において、複合構造体の製造は、複数のプライのうちの第一のプライのレイアップ及びプライ圧密化を含み、構成要素又は複合構造体に対する定められた品質目標は、複数のプライのうちの第一のプライのレイアップ又はプライ圧密化の間に形成された面外繊維ゆがみ（リンクル）の最小化を含む。また、これらの例示的な実施形態において、機械学習アルゴリズムは、面外繊維ゆがみの最小化を達成するための制御データを生成するように構成され、コントローラは、複数の加熱／冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾー

10

20

30

40

50

ンを独立に制御して、樹脂又は結合剤の温度を局所的に加熱、冷却、又は維持して、複数のプライのうちの第一のプライのレイアップ又はプライ圧密化の間に樹脂又は結合剤の摩擦粘度を局所的に制御するように構成される。

【0020】

任意の前述の若しくは任意の以後の例示的な実施形態、又はそれらの任意の組合せのシステムの幾つかの例示的な実施形態において、構成要素の特性は、複数のプライのうちの第一のプライのレイアップ又はプライ圧密化の間の複合構造体の厚さであり、その変化が面外繊維ゆがみを示す。

【0021】

幾つかの例示的な実施形態において、複合構造体を製造する方法が提供される。本方法は、ツールの表面上に複合構造体の要素を支持することを含む。ツールは、表面がそのように分割されるところの複数の温度ゾーンを提供するように構成された複数の加熱/冷却デバイスを有する。複数の加熱/冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンが、多次元アレイに配列され、構成要素からの複合構造体の製造中に複数の構成要素のうちの1つの構成要素の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するように独立に制御可能である。本方法は、複数のセンサによって、空間的に分布した複数の点のそれぞれの点において構成要素の特性を感知すること、及びそれに対応するセンサデータを提供することを含む。本方法は、構成要素又は複合構造体に対する定められた品質目標を達成するための制御データを生成する機械学習アルゴリズムにセンサデータを適用することを含む。そして、本方法は、構成要素又は複合構造体を定められた品質目標へ進めるための制御データに従って、構成要素の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するために、複数の加熱/冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンを独立に制御することを含む。これらの例示的な実施形態において、特性を感知し、それに対応するセンサデータを提供すること、センサデータを機械学習アルゴリズムに適用すること、並びに複数の加熱/冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンを独立に制御することは、構成要素からの複合構造体の製造中の複数の時期において起こり、機械学習アルゴリズムは、構成要素又は複合構造体が定められた品質目標に進むのを増進させることを、この複数の時期にわたって学習する。

【0022】

前述の若しくは任意の以後の例示的な実施形態、又はそれらの任意の組合せの方法の幾つかの例示的な実施形態において、複数のセンサのうちの各センサは、それぞれの温度ゾーンに関連付けられ、それぞれの温度ゾーンにおいて複合構造体の特性を感知する。

【0023】

任意の前述の若しくは任意の以後の例示的な実施形態、又はそれらの任意の組合せの方法の幾つかの例示的な実施形態において、複合構造体の構成要素は、予め含浸された又は樹脂が注入されるべき繊維のベッドを含み、複数の加熱/冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンが、樹脂の温度を局所的に加熱、冷却、又は維持するように独立に制御可能である。

【0024】

任意の前述の若しくは任意の以後の例示的な実施形態、又はそれらの任意の組合せの方法の幾つかの例示的な実施形態において、構成要素の特性は、樹脂の有無、温度、圧力若しくは硬化度、又は繊維のベッドの面外ゆがみである。

【0025】

任意の前述の若しくは任意の以後の例示的な実施形態、又はそれらの任意の組合せの方法の幾つかの例示的な実施形態において、複合構造体の製造は、それにより繊維のベッドに樹脂を注入するための繊維のベッドにわたる樹脂のフローを含み、構成要素又は複合構造体の定められた品質目標は、樹脂のフローのフロントの所望の形状を含む。これらの例示的な実施形態において、機械学習アルゴリズムは、樹脂のフローのフロントの所望の形状を達成するための制御データを生成し、複数の加熱/冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンは、樹脂の粘度を局所的に制御し、それにより樹脂のフローのフロントを所望の形状に進路誘導するために、樹脂の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するように、

独立に制御される。

【0026】

任意の前述の若しくは任意の以後の例示的な実施形態、又はそれらの任意の組合せの方法の幾つかの例示的な実施形態において、構成要素の特性は、樹脂の有無である。これらの例示的な実施形態において、機械学習アルゴリズムにセンサデータを適用することは、空間的に分布した複数の点のそれぞれの点において樹脂の有無を示す繊維のベッドのバイナリイメージビットマップを生成すること、一群のベクトル点を生成するために、ビットマップから樹脂のフローのフロントの輪郭を抽出すること、並びに一群のベクトル点のベクトル点に沿って、空間的に分布した複数のそれぞれの点の少なくとも一部の各点における曲率を測定し、それにより、曲率の統計値に基づいて、空間的に分布した複数のそれぞれの点の少なくとも一部の各々においてペナルティ又は報酬を選択的に適用する機械学習アルゴリズムへの適用のための曲率の統計値を生成することを、少なくとも含む。

10

【0027】

任意の前述の若しくは任意の以後の例示的な実施形態、又はそれらの任意の組合せの方法の幾つかの例示的な実施形態において、機械学習アルゴリズムが、ペナルティ又は報酬を選択的に適用することは、空間的に分布した複数のそれぞれの点の少なくとも一部の各点について、ペナルティ又は報酬を、それぞれ、その点における大きい曲率又は小さい曲率に対して選択的に適用することを含み、機械学習アルゴリズムは、樹脂のフローの真っ直ぐなフロントの定められた品質目標を達成するための制御データを生成する。

【0028】

20

任意の前述の若しくは任意の以後の例示的な実施形態、又はそれらの任意の組合せの方法の幾つかの例示的な実施形態において、複合構造体の製造は、樹脂の硬化を含み、構成要素又は複合構造体に対する定められた品質目標は、複合構造体の所望の形状を含む。これらの例示的な実施形態において、機械学習アルゴリズムは、複合構造体の所望の形状を達成するための制御データを生成し、複数の加熱／冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンは、樹脂の温度勾配及び硬化度を、並びにそれにより、複合構造体の任意のスプリングバックに対抗するための複合構造体内部のプロセス誘起のひずみを局所的に制御するために、樹脂の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するように、独立に制御される。

【0029】

任意の前述の若しくは任意の以後の例示的な実施形態、又はそれらの任意の組合せの方法の幾つかの例示的な実施形態において、複合構造体の構成要素は、各々のプライが樹脂を予め含浸されている又は結合剤で結び付けられている、繊維のプライを含み、複数の加熱／冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンが、樹脂又は結合剤の温度を局所的に加熱、冷却、又は維持するように独立に制御可能である。これらの例示的な実施形態において、複合構造体の製造は、プライのうちの第一のプライのレイアップ及びプライ圧密化を含み、構成要素又は複合構造体に対する定められた品質目標は、プライのうちの第一のプライのレイアップ又はプライ圧密化の間に形成された面外繊維ゆがみ（リンクル）の最小化を含む。また、これらの例示的な実施形態において、機械学習アルゴリズムは、面外繊維ゆがみの最小化を達成するための制御データを生成し、複数の加熱／冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンが、樹脂又は結合剤の温度を局所的に加熱、冷却、又は維持して、プライのうちの第一のプライのレイアップ又はプライ圧密化の間に樹脂又は結合剤の摩擦粘度を局所的に制御するように独立に制御される。

30

40

【0030】

任意の前述の若しくは任意の以後の例示的な実施形態、又はそれらの任意の組合せの方法の幾つかの例示的な実施形態において、構成要素の特性は、プライのうちの第一のプライのレイアップ又はプライ圧密化の間の複合構造体の厚さであり、その変化が面外ゆがみを示す。

【0031】

本開示のこれら及び他の特徴、態様、及び利点が、以下に簡単に説明されている添付の図面とともに以下の詳細な説明を読むことにより明らかとなるであろう。本開示は、本開

50

示に記載された2つ、3つ、4つ又はそれ以上の特徴又は要素の任意の組合せを含み、そのような特徴又は要素が、本書に記載の特定の例示的な実施形態の中で明示的に組み合わされているか又は他の仕方では記載されているかどうかによらない。本開示は、総合的に読まれることが意図されており、従って、本開示の文脈上、明白に他の意味に解すべき場合を除き、本開示の任意の態様及び例示的な実施形態における、任意の分離可能な特徴又は要素は、すなわち組合せ可能であることが意図されていると見なされるべきである。

【0032】

それ故、この発明の概要は、本開示の幾つかの態様についての基本的な理解を提供するように、幾つかの例示的な実施形態を要約する目的でのみ提供される、ということが認識されるであろう。従って、上記の例示的な実施形態は、単に例であり、いかなる点においても本開示の範囲又は趣旨を狭めるものと解釈されるべきでない、ということが認識されるであろう。他の例示的な実施形態、態様及び利点が、記載された幾つかの例示的な実施形態の原理を例として示す添付の図面とともに以下の詳細な説明から明らかになるであろう。

【0033】

上述のように一般的な言葉で本開示の例示的な実施形態を説明したが、次に、添付の図面が参照される。これらは、必ずしも正確な縮尺で描かれていない。

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】本開示の少なくとも幾つかの例示的な実施形態から利益を得ることができる、複合構造体を製造する方法における種々のステップを示す。

【図2】本開示の幾つかの例示的な実施形態による、複合構造体を製造するシステムを示す。

【図3】様々な例示的な実施形態による、複合構造体を製造する方法における種々のステップを示すフローチャートである。

【図4A】様々な例示的な実施形態による、樹脂注入中における、ツール上にレイアップされた複合構造体を表し、所望の品質目標を達成するために、樹脂フローフロントを進路誘導することを含む。

【図4B】様々な例示的な実施形態による、樹脂注入中における、ツール上にレイアップされた複合構造体を表し、所望の品質目標を達成するために、樹脂フローフロントを進路誘導することを含む。

【図5】様々な例示的な実施形態による、プライ圧密化中における、ツール上にレイアップされた複合構造体を表し、面外繊維ゆがみを最小化する品質目標を達成するために、樹脂の摩擦粘度を局所的に制御することを含む。

【図6】本開示の例示的な実施形態による、公称エンジニアリング形状の品質目標を達成するために、複合スプリングバックに対抗する技法を示す。

【図7】幾つかの例示的な実施形態による、装置を示す。

【発明を実施するための形態】

【0035】

本開示の幾つかの実施形態が、添付の図面を参照して、以下に、より十分に記載される。図面には、本開示の全てではないが幾つかの実施形態が示される。実際には、本開示の様々な実施形態が、多くの異なる形で具現化されることができ、本書に記載の実施形態に限定されると解されるべきでない。むしろ、これらの例示的な実施形態は、本開示が徹底的且つ完全になり、当業者に本開示の範囲を十分に伝えるように、提供される。例えば、別段の定めがない限り、何かを第一、第二、等と言及することは、ある特定の順序を意味すると解されるべきでない。また、例えば、本書において、量的な寸法、値、関係、等（例えば、平面の、同一平面上の、垂直の）に言及がなされることがある。別段の定めがない限り、これらのうちの全てではないが、任意の1つ以上が、公差等によるものなどの、起こり得る受入れ可能なばらつきを考慮して、絶対的又は近似的であり得る。同様な参照番号は、本書を通して同様な要素を指す。

【0036】

本開示の例示的な実施形態は、一般に、複合構造体の製造に関し、上記のように、オートクレーブ工程、脱オートクレーブ工程、及び樹脂注入工程を含む任意の適当な製造工程のための予め含浸され樹脂を注入されたプライに適用され得る。構造体は、1つ以上の層（より具体的には、幾つかの例において「プライ」）から構成される多くの異なる構造体のうちの任意の構造体であってよく、この層の各々が、幾つかの例において、繊維のベッド（より簡単に、プライ又は繊維のプライと呼ばれることもある）を含み得る。繊維のベッドは、樹脂を予め含浸されてもよいし、又は結合剤で結び付けられており、樹脂を注入されることになっていてもよい。これらの複合構造体は、例えば、各々のプライが、樹脂を予め含浸されていてもよいし、又は結合剤で結び付けられて（樹脂を注入されることになっ

10

【0037】

図1は、本開示の少なくとも幾つかの例示的な実施形態から利益を得ることができる複合構造体を製造する方法100における様々なステップを示すが、例示的な実施形態は、複合材製造の他の方法に等しく適用可能であり得る。ブロック102に示されるように、本方法は、ツール（又はモールド）の準備を含み、これは、ツールを洗浄し、離型剤化学物質を塗布することを含み得る。ブロック104及び106に示されるように、繊維の1つ以上のプライが、所望のサイズ及び形状に切断され、正しい順序でツール上に置かれ得る。上記のように、これらのプライは、樹脂を予め含浸されてもよいし、又は結合剤で結び付けられており、樹脂を注入されることになっていてもよい。

20

【0038】

本方法100は、ブロック108に示されるように、プライ圧密化を含み得る。予め含浸されたプライの場合、このプライ圧密化は、揮発性物質を抜くための空気経路を提供する透過性材料の層とともに真空バッグ下にレイアップをシールすることにより、プライの定期的な圧密化（デバルキング）を含み得る。デバルキングは、プライを圧密化し、プライから空気を除去するために、ある時間（例えば、5～10分）、完全真空を適用することにより達成され得る。

30

【0039】

樹脂注入の場合には、プライ圧密化は、しばしば、プリフォーミングと呼ばれる。これは、プライをレイアップすること、真空下にプライを置いて、それらを正しい形状に成形すること、及び結合剤を溶かす温度（例えば、330°F）にプライの温度を上げることを含む。これは、プライを正しい形状に固める。幾つかの例において、プライは、トリミング処理され、その後、プリフォーミングツールから注入ツール上に移され得る。このプリフォーミングは、形状が複雑であり、プライが本来の場所で適切にレイアップされ得ない場合に、より頻繁に行われ得る。

40

【0040】

予め含浸されたプライ及び樹脂を注入されべきプライの両方について、方法100は、ブロック110に示されるように、消耗品レイアップ及びバギングステップを含み得る。ここで、離型フィルムの層が、プライを覆う保護バリアとしてレイアップを覆って置かれ、透過性材料の層が、空気経路を作り出すために離型フィルムを覆って置かれ得る。予め含浸されたプライに対して、この空気経路は、プライからガス及び揮発性物質を除去するためのものであり得る。プライに樹脂が注入されるために、空気経路は、プライ（又はより具体的には、それぞれの繊維のベッド）に樹脂を注入するための経路を作り出し得る。両方のタイプのプライについて、レイアップは、ツールに気密シールされる真空バッグの中に覆われ得る。

【0041】

50

ブロック 1 1 2 に示されるように、構造体は、その後、硬化され得る。予め含浸されたプライに対して、これは、バギングされたレイアップをオートクレーブ内に置くことを含み得る。プライに樹脂が注入されるために、これは、バギングされたレイアップをオープン内に置くこと、及びレイアップを樹脂源に接続することを含み得る。予め含浸されたプライの場合に、樹脂を硬化させるため、又は注入されるべきプライの場合に、プライに樹脂を注入し、樹脂を硬化させるため、推奨された硬化サイクルに従って、圧力及び温度プロファイルが、適用され得る。硬化サイクル後に、複合構造体は、ブロック 1 1 4 に示されるように、デバギングされ、トリミング処理され得る。これは、オートクレーブ（予め含浸されたプライに対して）又はオープン（樹脂注入に対して）からのツールの除去、並びに消耗品（真空バッグ、透過性材料及び離型フィルム）の除去を含み得る。硬化された複合構造体は、ツールから離型され、鋭いエッジを除去し、所望の最終形状を作る出すために、トリミング処理され得る。

10

【 0 0 4 2 】

本開示の例示的な実施形態は、1つ以上のある定められた品質を達成するために、複合部品の製造中に工程内で適用され得る。例示的な実施形態は、プライレイアップ（ブロック 1 0 6）、圧密化（ブロック 1 0 8）並びに / 又は樹脂注入及び硬化（ブロック 1 1 2）の間など、複合構造体を製造する方法 1 0 0 の幾つかの異なるステップのうちの任意のステップの前、後、又はその間に、適用され得る。例示的な実施形態に従って、独立に制御された温度ゾーンの多次元（二次元又は三次元）アレイが、複合材製造（又は製作）中に遭遇するよくある製造上の望ましくない不整合に対処するため、並びに歩留まりを改善し、スクラップ及びリワークを減少させ、又は設計許容量の減少（構造上のロックダウン）から生じる性能 / 重量ペナルティを減少させるために、使用され得る。より詳細には、例示的な実施形態は、複合構造体の構成要素（複数可）の温度を製造中に加熱、冷却又は維持するために、強化学習に基づく、温度ゾーンの多次元アレイの温度ゾーンの独立制御を提供する。例示的な実施形態は、樹脂注入工程、オートクレーブ又は脱オートクレーブの予め含浸された工程のいずれかを用いるなどの、複合構造体の高度なリアルタイムの工程内品質制御を提供するために、適用され得る。

20

【 0 0 4 3 】

図 2 A 及び図 2 B は、本開示の幾つかの例示的な実施形態による、複合構造体 2 0 2 を製造するためのシステム 2 0 0 を示す。上記及び以下により詳細に記載されるように、システムは、1つ以上の定められた品質目標を達成するために、複合構造体の製造中に作業を実行するように構成され得る。システムは、プライレイアップ及び / 又は圧密化の間に動作し、さもなければこれらのステップ中に形成され得る面外繊維ゆがみを最小化し得る。例えば、システムは、第一のプライをツール上にレイダウンするために、結合剤（樹脂が注入されるべき繊維のベッドに対して）又は樹脂（予め含浸された繊維のベッドに対して）の付着を補助するように、ツールを加熱し得る。他の例において、システムは、樹脂（予め含浸された繊維のベッドに対して）又は結合剤（樹脂が注入されるべき繊維のベッドに対して）の摩擦粘度を変化させ、真空成形工程中のプライのリンクリングを減少させるために、温度を局所的に変更し得る。

30

【 0 0 4 4 】

システム 2 0 0 は、樹脂注入中に動作し、樹脂のフローのフロントの所望の形状を維持するように硬化させ得る。より詳細には、例えば、システムは、樹脂粘度の能動的な熱制御を適用し、それにより、樹脂フローフロントを有効に進路誘導し、曲率が最小の真っ直ぐなフローフロントを維持し得、これは、樹脂フローフロントをせき止めて、複合構造体の品質を低下させるポロシティの領域を生成する可能性を最小化し得る。更に別の例において、システムは、公称エンジニアリング形状などの、複合構造体の所望の形状を達成するように動作し得る。ここで、システムは、樹脂ポリマーの架橋結合によるプロセス誘起のひずみを局所的に変えるために、異なる温度ランプレートを適用し得、それにより、積層板の非対称性によって引き起こされるスプリングバック及び反りに対抗し得る。

40

【 0 0 4 5 】

50

システム 200 は、複合構造体 202 の製造に関する 1 つ以上の機能又は作業を実行するための幾つかの異なるサブシステム（各々、個別のシステム）のうちの任意のものの各々のうちの 1 つ以上を含み得る。示されているように、例えば、システムは、互いに接続されている、ツール 204（又はモールド）、複数のセンサ 206、計算デバイス 208 及びコントローラ 210 を含み得る。ツール、センサ、計算デバイス又はコントローラのうちの任意の 1 つ以上が、システムの一部としていっしょに示されているけれども、他と関係ない個別のシステムとして機能又は動作し得るということが理解されるべきである。更に、システムは、図 2 A 及び図 2 B に示されているもの以外の 1 つ以上の追加的な又は代替的なサブシステムを含み得るということが理解されるべきである。

【0046】

ツール 204 は、複合構造体 202 の構成要素（例えば、1 つ以上の繊維のプライ、樹脂）を支持するように構成された表面 212 を有し得る。図 2 A 及びより詳細には図 2 B に示されているように、ツールはまた、表面がそのように分割されるところの複数の温度ゾーン 216（その各々のうちの 1 つが、図 3 において具体的に呼び出される）を提供するように構成された複数の加熱／冷却デバイス 214 を有してもよい。加熱／冷却デバイス及びそれにより温度ゾーンが、多次元アレイに配列され、構成要素からの複合構造体の製造中に複数の構成要素のうちの 1 つの構成要素の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するように独立に制御可能であり得る。幾つかの例において、加熱／冷却デバイス及びそれにより温度ゾーンが、樹脂の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するように独立に制御可能である。

【0047】

加熱／冷却デバイス 214 は、幾つかの異なる仕方のうちの任意の仕方で温度ゾーン 216 を提供し得る。幾つかの例において、表面は、複数の個々の加熱／冷却デバイスから構成され、それぞれの表面が、多次元アレイに配列され、ツールの表面を形成し得る。これらの加熱／冷却デバイスの各々が、温度を加熱、冷却又は維持するように制御可能であり、それによりそれぞれの温度ゾーンを提供し得る。他の例において、多次元アレイに配列された同様な複数の個々の加熱／冷却デバイスが、ツールの表面の下に置かれ、ツールの表面と熱的に連通し得る。適当な加熱／冷却デバイスの例は、イギリスの Surface Generation Ltd. から商業的に入手可能なもの、及びドイツの Qpoint Composite GmbH から商業的に入手可能なものを含む。

【0048】

複数のセンサ 206 は、空間的に分布した複数の点のそれぞれの点において構成要素の特性を感知し、それに対応するセンサデータを提供するように構成され得る。幾つかの例において、複数のセンサの各センサは、それぞれの温度ゾーン 216 における複合構造体 202 の特性と関連付けられ、それを感知するように構成される。センサの例は、樹脂又は結合剤の有無、温度、圧力及び／又は硬化度などの特性を測定することができる圧電センサ及び光ファイバースенсаを含む。適当なセンサの他の例は、複合構造体の厚さを検出するように構成された光学センサであり、厚さの変化が、面外繊維ゆがみを示す。センサは、幾つかの異なる仕方のうちの任意の仕方で配列され得、温度ゾーンの数より多い、等しい、又は少ない数量であり得る。センサは、ツールの表面 212 より上、ツールの表面 212 に接して、又はツールの表面 212 の下に置かれ得る。幾つかの例において、センサは、真空バッグより上に置かれ得る。幾つかの例において、センサは、温度ゾーンを提供する、それぞれの個々の加熱／冷却デバイス 214 とともに配列され得る。

【0049】

計算デバイス 208 が、複数のセンサ 206 と接続され、構成要素又は複合構造体 202 のための定められた品質目標を達成するための制御データを生成するように構成され得る。制御データは、幾つかのフィードバック制御メカニズムに従って、生成され得る。幾つかの例において、計算デバイスは、構成要素又は複合構造体のための定められた品質目標を達成するための制御データを生成するように構成された機械学習アルゴリズム 218（例えば、コンピュータ読取り可能プログラムコード）にセンサデータを適用するように

10

20

30

40

50

構成され得る。適当な機械学習アルゴリズムの例は、強化学習アルゴリズム、遺伝的アルゴリズム、進化的アルゴリズム、等を含む。幾つかの例において、以下により詳細に記載されるように、これら及び他の機械学習アルゴリズムは、ペナルティ又は報酬スキームを用いて、適切な制御データを生成し得る。

【0050】

コントローラ210が、計算デバイス208及びツール204に接続され、構成要素又は複合構造体202を定められた品質目標に進めるための制御データに従って、構成要素の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するために、加熱/冷却デバイス214及びそれにより温度ゾーン216を独立に制御するように構成され得る。

【0051】

例示的な実施形態のシステム200によって実行される上記工程が、構成要素からの複合構造体202の製造中に、複数の時期において繰り返され得る。すなわち、複数の時期において、複数のセンサ206が、特性を感知し、それに対応するセンサデータを提供するように構成され得、計算デバイス208が、センサデータを機械学習アルゴリズム218に適用するように構成され得、コントローラ210が、加熱/冷却デバイス214及びそれにより温度ゾーン216を独立に制御するように構成され得る。これは、機械学習アルゴリズムが、構成要素又は複合構造体が定められた品質目標に進むのを増進させることを複数の時期にわたって学習するのを、可能にし得る。

【0052】

幾つかの例において、温度ゾーン216によって影響される構成要素は、予め含浸された繊維のベッド(プライ)、又は樹脂を注入されている繊維のベッドの樹脂である。これらの例において、加熱/冷却デバイス214及びそれにより温度ゾーンが、樹脂の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するように独立に制御可能であり得る。また、これらの例において、構成要素(樹脂)の特性は、樹脂の有無、温度、圧力、若しくは硬化度、又は繊維のベッドの面外ゆがみのうちの1つ以上を含み得る。

【0053】

上記のように、幾つかの例において、複合構造体202の製造は、樹脂注入を含み、これは、繊維のベッドに樹脂を注入するための繊維のベッドにわたる樹脂のフローを含み得る。これらの例において、構成要素又は複合構造体の定められた品質目標は、樹脂のフローのフロントの所望の形状を含み得る。機械学習アルゴリズム218は、それ故、樹脂のフローのフロントの所望の形状を達成するための制御データを生成するように構成され得る。また、コントローラ210は、樹脂の粘度を局所的に制御し、それにより樹脂のフローのフロントを所望の形状に進路誘導するため、樹脂の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するために、加熱/冷却デバイス214及びそれにより温度ゾーン216を独立に制御するように構成され得る。

【0054】

幾つかの更なる例において、構成要素の特性は、樹脂の有無であり得る。これらの例において、計算デバイス208は、空間的に分布した複数の点のそれぞれの点において樹脂の有無を示す繊維のベッドのバイナリイメージビットマップを生成し、一群のベクトル点を生成するために、ビットマップから樹脂のフローのフロントの輪郭を抽出するように、構成され得る。計算デバイスは、一群のベクトル点のベクトル点に沿って、空間的に分布した複数のそれぞれの点のうちの少なくとも一部の各点における曲率を測定し得る。計算デバイスは、それにより、曲率の統計値に基づいて、空間的に分布した複数のそれぞれの点のうちの少なくとも一部の各々においてペナルティ又は報酬を選択的に適用するように構成された機械学習アルゴリズム218への適用のための曲率の統計値を生成し得る。更に別の例において、空間的に分布した複数のそれぞれの点のうちの少なくとも一部の各点について、機械学習アルゴリズムは、ペナルティ又は報酬を、それぞれ、その点における大きい曲率又は小さい曲率に対して選択的に適用し得る。機械学習アルゴリズムは、その後、樹脂のフローの真っ直ぐなフロントの定められた品質目標を達成するための制御データを生成し得る。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 5 】

幾つかの例において、複合構造体 2 0 2 の製造は、樹脂の硬化を含み、構成要素又は複合構造体のための定められた品質目標は、複合構造体の所望の形状を含む。これらの例において、機械学習アルゴリズム 2 1 8 は、複合構造体の所望の形状を達成するための制御データを生成するように構成され得る。また、コントローラ 2 1 0 は、樹脂の温度勾配及び硬化度を、並びにそれにより、複合構造体の任意のスプリングバックに対抗するための複合構造体内部のプロセス誘起のひずみを局所的に制御するために、樹脂の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するよう、加熱 / 冷却デバイス 2 1 4 及びそれにより温度ゾーン 2 1 6 を独立に制御するように、構成され得る。この硬化度は、面内若しくは厚さ方向の硬化度又は両方を指し得る。

10

【 0 0 5 6 】

幾つかの例において、加熱 / 冷却デバイス 2 1 4 及びそれにより温度ゾーン 2 1 6 は、予め含浸された樹脂、又は繊維を結び付ける結合剤の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するように、独立に制御可能であり得る。これらの例において、複合構造体 2 0 2 の製造は、プライのうちの第一のプライのレイアップ及びプライ圧密化を含み得、構成要素又は複合構造体についての定められた品質目標は、プライのうちの第一のプライのレイアップ又はプライ圧密化の間に形成された面外繊維ゆがみ（リンクル）の最小化を含む。

【 0 0 5 7 】

プライ圧密化は、オートクレーブ法の予め含浸されたプライ、脱オートクレーブ法の予め含浸されたプライ、及び樹脂注入のためのプライに適用され得る。樹脂注入工程において、プライ圧密化は、一般に、レイアップの終了時に一度行われ得る。オートクレーブ法の予め含浸されたプライ及び脱オートクレーブ法の予め含浸されたプライの両方について、プライ圧密化ステップは、多数回、例えば、第一のプライダウンの後、その後に規則的な間隔で（例えば、4 つおきにプライがレイダウンされた後に）、そしてレイアップの終了時にもう一度、繰り返され得る。

20

【 0 0 5 8 】

面外プライゆがみを測定するように構成されたセンサ 2 0 6 と共に、機械学習アルゴリズム 2 1 8 は、その後、面外繊維ゆがみの最小化を達成するための局所的な温度制御を提供するために、加熱 / 冷却デバイス 2 1 4 及びそれにより温度ゾーン 2 1 6 の制御データを生成するように構成され得る。また、コントローラ 2 1 0 は、プライのうちの第一のプライのレイアップ又はプライ圧密化の間に樹脂又は結合剤の摩擦粘度を局所的に制御するため、樹脂又は結合剤の温度を局所的に加熱、冷却、又は維持するために、制御データに従って、加熱 / 冷却デバイス及びそれにより温度ゾーンを独立に制御するように構成され得る。これらの例のうちの少なくとも幾つかにおいて、構成要素の特性は、プライのうちの第一のプライのレイアップ又はプライ圧密化の間における複合構造体の厚さであり得、厚さの変化が、面外繊維ゆがみを示す。

30

【 0 0 5 9 】

図 3 は、種々の例示的な実施形態による、複合構造体を製造する方法 3 0 0 における様々なステップを示すフローチャートである。ブロック 3 0 2 に示されるように、本方法は、ツール 2 0 4 の表面 2 1 2 上に複合構造体 2 0 2 の要素を支持することを含み得る。ツールはまた、表面が分割されてできる複数の温度ゾーン 2 1 6 を提供するように構成された複数の加熱 / 冷却デバイス 2 1 4 を有し得る。複数の加熱 / 冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンが、多次元（二次元又は三次元）アレイに配列され、構成要素からの複合構造体の製造中に複数の構成要素のうちの 1 つの構成要素の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するように独立に制御可能であり得る。

40

【 0 0 6 0 】

本方法 3 0 0 は、ブロック 3 0 4 に示されるように、複数のセンサ 2 0 6 によって、空間的に分布した複数の点のそれぞれの点において構成要素の特性を感知すること、及びそれに対応するセンサデータを提供することを含み得る。本方法は、ブロック 3 0 6 に示されるように、構成要素又は複合構造体の定められた品質目標を達成するための制御データ

50

を生成する機械学習アルゴリズム 218 (例えば、強化学習アルゴリズム) にセンサデータを適用することを含み得る。また本方法は、ブロック 308 に示されるように、構成要素又は複合構造体を定められた品質目標へ進めるための制御データに従って、構成要素の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するように、加熱/冷却デバイス 214 及びそれにより温度ゾーン 216 を独立に制御することを含み得る。同じく示されているように、本方法は、構成要素からの複合構造体の製造中における複数の時期において、センサデータが提供され機械学習アルゴリズムに適用されて、加熱/冷却デバイス及びそれにより温度ゾーンが独立に制御されるように、繰り返され得る。これは、機械学習アルゴリズムが、構成要素又は複合構造体が定められた品質目標に進むのを増進させることを複数の時期にわたって学習することを、含み得る。

10

【0061】

例示的な実施形態の方法 300 は、複合構造体の製造中に適用されてもよいし、複合構造体の製造シミュレーション中に適用されてもよい。製造シミュレーション中における本方法の適用は、複合構造体の製造を進展させ得る幾つかの利益をもたらし得る。例えば、機械学習アルゴリズムが、複合構造体の製造シミュレーションを通してトレーニングされ得る。そして、このトレーニングにより、機械学習アルゴリズムは、複合構造体の製造中に、より正確に適用され得る。

【0062】

本開示の例示的な実施形態を更に示すために、樹脂フローフロントが、ヒンジ点に対する付属物のようなものを表す、中央に厚いパッドアップを有する複合構造体上で進路誘導され得るケーススタディを考える。図 4A 及び図 4B は、ツール 204 上にレイアップされた複合構造体 202 を示す。別々に示されていないけれども、本例及び他の例において、センサ 206 は、複合構造体にわたって面内又は厚さ方向又はその両方に配置され得る。この例において、定められた品質目標は、最小の曲率を有する真っ直ぐなフローフロントを維持することであり得、これは、樹脂フローフロントをせき止めて、複合構造体の品質を低下させるポロシティの領域を生成する可能性を最小化し得る。

20

【0063】

本開示の例示的な実施形態によれば、樹脂が繊維にわたって流れるとき、センサ 206 は、計算デバイス 208 がバイナリイメージビットマップを生成するために、樹脂の有無を検出し得、バイナリイメージビットマップは、樹脂を検出したセンサの配列と類似に見え得る。計算デバイスは、一群のベクトル点を生成するために、ビットマップから樹脂フローフロント 402 の輪郭を抽出し、各センサにおけるベクトル点に沿って局所的及び全体的な曲率を測定し得る。機械学習アルゴリズム 218 は、曲率の統計値に基づいてペナルティ (直線の樹脂フローフロントという所望の結果を達成するため、大きい曲率に対してペナルティ、小さい曲率に対して報酬) を適用し、コントローラ 210 に制御データを提供し得る。コントローラ 210 は、加熱/冷却デバイス 214 及びそれにより温度ゾーン 216 に、温度を上昇、低下、維持するよう個別に指示し得る。例えば、図 4A の網掛け温度ゾーンは、温度を上昇させて、樹脂の粘度を低下させ、フローフロントが「真っ直ぐになる」ように、樹脂フローを増加させるように制御されているゾーンを示す。

30

【0064】

図 4B に示された例において、時間ステップ x で、センサ 206 は、材料の厚いパッドアップのため、フローフロントが中央で遅れていることを検出し得る。機械学習アルゴリズム 218 は、次に、制御データをコントローラ 210 に送り、この領域の温度を局所的に上昇させ、樹脂の粘度を局所的に低下させ得る。フローフロントは、時間ステップ $x+1$ で真っ直ぐになり始め、時間ステップ $x+2$ で、センサは、フローフロントがより均一であることを検出し得る。これは、機械学習アルゴリズムにおいて報酬の適用をもたらし得る。

40

【0065】

幾つかの例において、計算デバイス 208 は、複合構造体のどのくらいが、樹脂で充満されているかを示す、複合構造体 202 の充満状態とともに開始し得、充満状態は機械学

50

習アルゴリズム 218 に入力される。機械学習アルゴリズムは、適切な制御データを生成し、制御データは、樹脂の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するため、加熱/冷却デバイス 214 及びそれにより温度ゾーン 216 の独立制御のために、コントローラ 110 に入力され得る。これは、充満状態に変化をもたらし得る。このループが継続し、所望の効率的な頻度（例えば、数秒又は数分）で実行されてもよいし、又は製造される構造体につき一度だけ完了してもよい。いずれの場合においても、機械学習アルゴリズムは、実際の又はコンピュータシミュレーションのセンサデータを用いて学習し得る。更に、報酬システムは、センサデータに基づいて自動化されてもよいし、又はループ内のオペレータによって手動で制御されてもよい。

【0066】

10

本開示の例示的な実施形態は、2つの人工知能技法を融合させ、定められた品質目標を達成し、予期しない品質変動に対して賢明な仕方で応答するための方策を実行する知的制御スキームを生成し得る。例示的な実施形態に従って、用いられ、そしておそらくは融合され得る人工知能技法の例は、強化学習とディープニューラルネットワーク、ベイズ推定とエキスパートシステム、等を含む。例示的な実施形態によれば、定められた品質目標は、温度の値などの簡単な目標ではなく、真っ直ぐな樹脂フロントなどの高度な目標であり得る。この制御スキームへの入力、通常の制御スキームより著しく複雑であり得、必ずしも他のスキームのように出力と直接関連していなくてもよい。

【0067】

機械学習を通じて、システム 200 は、行動を起こし、行動が環境に対して有する効果を観察し得る。この状況において、システムは、ツール 204、及び次に樹脂の温度を局所的に上昇、低下又は維持し、その後、センサ 206 によって樹脂の充満状態を観察し得る。行動/観察を繰り返すことを通じて、システムは、どのような行動がどのような観察に対応付けられるのかを学習し得る。機械学習のプロセスは、機械学習アルゴリズム 218 が、報酬を時間にわたって最大化するため、ある行動を選好することを学習するように、ある観察を用いて報酬又はペナルティを適用することを含み得る。すなわち、複合構造体又はその構成要素（例えば、樹脂）の状態の観察結果が与えられると、機械学習アルゴリズムは、最大報酬（アルゴリズムが最大化しようとする値であって、いかに上手く目標を達成しているかに従って、各ステップにおいてアルゴリズムに与えられる）をもたらす行動（温度を変化させる、など）を選好することを学習し得る。

20

30

【0068】

所与の状況で取るべき最善の行動は、その状況と過去の経験の両方についての知識に依存し得るので、現在の状態、可能な行動の組、及び予想される報酬の間のマッピングとして働くディープニューラルネットワークの形で記憶が用いられ得る。このマッピングは、学習プロセスを通じて改良されるものであり得る。このプロセスは、シミュレーションでも、実際の複合構造体でも実行することができ、これにより、シミュレーションからの一揃いの記憶された知識が、最初の硬化が実行される前に、用いられることが可能になる。例示的な実施形態の1つの顕著な利益は、リアルタイム（ハード、ファーム、又はソフトのリアルタイム）で複合構造体の製造中にプロセス異常を検出し修正する能力である。

【0069】

40

樹脂の物理的性質に影響を与えるための樹脂温度の局所的調整についてのケーススタディが、より一般的に適用され得る。図5は、リンクルを特徴付け得る面外繊維ゆがみを最小化するという品質目標で、真空下でのプライ圧密化中の繊維のせん断に影響するので、樹脂（予め含浸された繊維のベッドに対して）又は結合剤（樹脂が注入されるべき繊維のベッドに対して）の摩擦粘度を局所的に制御する技法を示す。この場合に、レーザ又は他の適当な手段を用いるセンサ 206 が、面外繊維ゆがみを示す厚さの任意の局所的変化を測定するために、用いられ得る。同様な技法が、第一のプライをツール 204 上にレイダウンするため、結合剤（樹脂が注入されるべき繊維のベッドに対して）又は樹脂（予め含浸された繊維のベッドに対して）の付着を補助するように、ツールを最適に加熱するために、用いられ得る。

50

【 0 0 7 0 】

図 6 は、公称エンジニアリング形状の品質目標を達成するために、複合スプリングバックに対抗する技法を示す。この技法によれば、面内及び厚さ方向の硬化度の勾配を制御して、それにより、複合構造体内のプロセス誘起のひずみを変えるために、厚さ方向の温度勾配及び加熱速度が制御され得る。図 6 は、複合部品の外板 6 0 2 及び補強要素 6 0 4 を示す。補強要素は、ハット型補剛材として示されているが、多くの他の種類の補強要素のうちの任意のものであり得る。他の補強要素の例は、ブレード、1、z 若しくは I 形状、オメガ補強要素、又は外板の厚さが増えた局所的領域であるパッドアップを含む。

【 0 0 7 1 】

本開示の例示的な実施形態によれば、計算デバイス 2 0 8 は、様々な手段によって実施され得る。計算デバイスを実施する手段は、ハードウェアのみ、又はコンピュータ読取り可能記憶媒体からの 1 つ以上のコンピュータプログラム（例えば、機械学習アルゴリズム 2 1 8）の指示を受けたハードウェアを含み得る。幾つかの例において、1 つ以上の装置が、本書に示され記載された計算デバイスとして機能するように、又は他の仕方ですべてを実行するように、構成され得る。1 つより多い装置を含む例において、それぞれの装置は、多くの異なる仕方で、例えば、直接に、又は有線若しくは無線ネットワーク等を経由して間接的に、互いに接続され、又は他の仕方ですべてに通信し得る。

【 0 0 7 2 】

図 7 は、本開示の幾つかの例示的な実施形態による装置 7 0 0 を示す。一般に、本開示の例示的な実施形態の装置は、1 つ以上の固定の又は持ち運び可能な電子デバイスを備え、含み、又はそれに統合され得る。適当な電子デバイスの例は、スマートフォン、タブレットコンピュータ、ラップトップコンピュータ、デスクトップコンピュータ、ワークステーションコンピュータ、サーバコンピュータ等を含む。装置は、例えば、メモリ 7 0 4（例えば、記憶デバイス）に接続されたプロセッサ 7 0 2（例えば、プロセッサユニット）などの、幾つかの構成要素の各々のうちの 1 つ以上を含み得る。

【 0 0 7 3 】

一般に、プロセッサ 7 0 2 は、例えば、データ、コンピュータプログラム及び/又は他の適当な電子情報などの情報を処理することができる任意のコンピュータハードウェアである。プロセッサは、電子回路の集まりから構成され、電子回路の一部が、1 つの集積回路又は相互に接続された複数の集積回路としてパッケージされ得る（集積回路は、通常「チップ」と呼ばれることがある）。プロセッサは、コンピュータプログラムを実行するように構成され、コンピュータプログラムは、プロセッサに格納されてもよいし、又は（同じ装置又は別の装置の）メモリ 7 0 4 に格納されてもよい。

【 0 0 7 4 】

プロセッサ 7 0 2 は、特定の実施形態に応じて、幾つかのプロセッサ、マルチコアプロセッサ、又はある他のタイプのプロセッサであり得る。更に、プロセッサは、メインプロセッサが 1 つ以上のセカンダリプロセッサとともに単一チップ上に存在する幾つかのヘテロジニアスプロセッサシステムを用いて、実施され得る。別の例示的な例として、プロセッサは、同じタイプの複数のプロセッサを含む対称的なマルチプロセッサシステムであってもよい。更に別の例において、プロセッサは、1 つ以上の A S I C、F P G A 等として統合されてもよいし、又はさもないとそれらを含んでもよい。それ故、プロセッサは、1 つ以上の機能を果たすために、コンピュータプログラムを実行することができ得るけれども、様々な例のプロセッサは、コンピュータプログラムの助けなしに、1 つ以上の機能を果たすことができ得る。

【 0 0 7 5 】

一般に、メモリ 7 0 4 は、例えば、データ、コンピュータプログラム（例えば、コンピュータ読取り可能なプログラムコード 7 0 6）及び/又は他の適当な情報などの情報を、一時的に及び/又は永続的に保存することができる任意のコンピュータハードウェアである。メモリは、揮発性及び/又は不揮発性メモリを含み得、固定式又は取外し可能であり得る。適当なメモリの例は、ランダムアクセスメモリ（R A M）、読取り専用メモリ（R

10

20

30

40

50

OM)、ハードドライブ、フラッシュメモリ、サムドライブ、リムーバブルコンピュータディスク、光学ディスク、磁気テープ又は上記の組合せを含む。光学ディスクは、コンパクトディスク・読取り専用メモリ(CD-ROM)、コンパクトディスク・リード/ライト(CD-R/W)、DVD等を含み得る。様々な場合に、メモリは、コンピュータ可読記憶媒体と呼ばれ得る。コンピュータ可読記憶媒体は、情報を記憶することができる非一過性のデバイスであり、情報がある場所から別の場所に運ぶことができる電子的過渡信号などのコンピュータ可読伝送媒体と区別可能である。本書に記載されるコンピュータ可読媒体は、一般に、コンピュータ可読記憶媒体又はコンピュータ可読伝送媒体を指し得る。

【0076】

10

メモリ704に加えて、プロセッサ702もまた、情報を表示するための、伝送するための及び/又は受け取るための1つ以上のインターフェースに接続され得る。インターフェースは、通信インターフェース708(例えば、通信ユニット)及び/又は1つ以上のユーザインターフェースを含み得る。通信インターフェースは、例えば、他の装置(複数可)、ネットワーク(複数可)等へ、及び/又は、から情報を送る及び/又は受け取るように構成され得る。通信インターフェースは、物理的(有線の)及び/又は無線の通信リンクによって情報を送る及び/又は受け取るように構成され得る。適当な通信インターフェースの例は、ネットワークインターフェースコントローラ(NIC)、無線NIC(WNIC)等を含む。

【0077】

20

ユーザインターフェースは、ディスプレイ710及び/又は1つ以上のユーザ入力インターフェース712(例えば、入力/出力ユニット)を含み得る。ディスプレイは、ユーザに情報を提示する又は表示するように構成され得、その適当な例は、液晶ディスプレイ(LCD)、発光ダイオードディスプレイ(LED)、プラズマディスプレイパネル(PDP)等を含む。ユーザ入力インターフェースは、有線又は無線であり得、処理、記憶及び/又は表示などのために、ユーザから装置への情報を受け取るように構成され得る。ユーザ入力インターフェースの適当な例は、マイクロホン、画像又は動画取込装置、キーボード又はキーパッド、ジョイスティック、タッチセンサ式表面(タッチスクリーンから分離されている、又はタッチスクリーンに統合されている)、生体認証センサ、等を含む。ユーザインターフェースは、プリンタ、スキャナなどの周辺装置と通信するための1つ以上のインターフェースを、更に含み得る。

30

【0078】

上記のように、プログラムコード命令が、メモリに保存され、プロセッサによって実行され、本書に記載されたシステム、サブシステム、ツール及びそれらのそれぞれの要素の機能を実施し得る。理解されるように、任意の適当なプログラムコード命令が、コンピュータ可読記憶媒体からコンピュータ又は他のプログラム可能な装置にロードされ、本書に記載された機能を実行する手段になるような特定の機械を生成し得る。これらのプログラムコード命令は、コンピュータ、プロセッサ又は他のプログラム可能な装置に対して、ある特定の仕方では機能し、それによりある特定の機械又はある特定の製品を生成するように指示することができるコンピュータ可読記憶媒体に保存されてもよい。コンピュータ可読記憶媒体に保存される命令は、本書に記載された機能を実行する手段になる製品を作り出し得る。プログラムコード命令は、コンピュータ可読記憶媒体から検索されて、コンピュータ、プロセッサ又は他のプログラム可能な装置にロードされ、コンピュータ、プロセッサ又は他のプログラム可能な装置を、コンピュータ、プロセッサ又は他のプログラム可能な装置上で又はそれらによって行われるべきオペレーションを実行するように構成し得る。

40

【0079】

プログラムコード命令の検索、ロード、及び実行は、一度に1つの命令が検索、ロード及び実行されるように、シーケンシャルに行なわれ得る。幾つかの例示的な実施形態において、検索、ロード及び/又は実行は、複数の命令が一緒に検索、ロード、及び/又は実

50

行されるように、並行に行われ得る。プログラムコード命令の実行は、コンピュータ、プロセッサ又は他のプログラム可能な装置によって実行される命令が、本書に記載された機能を実行するためのオペレーションを提供するような、コンピュータによって実施されるプロセスを生成し得る。

【0080】

プロセッサによる命令の実行、又はコンピュータ可読記憶媒体への命令の保存は、特定の機能を遂行するためのオペレーションの組合せをサポートする。このように、装置700は、プロセッサ702及びプロセッサに接続されたコンピュータ可読記憶媒体又はメモリ704を含むことができ、プロセッサは、メモリに保存されたコンピュータ可読プログラムコード706を実行するように構成される。1つ以上の機能、及び機能の組合せが、その特定の機能を遂行する専用ハードウェアベースのコンピュータシステム及び/又はプロセッサによって実施されてもよいし、又は専用ハードウェアとプログラムコード命令の組合せによって実施されてもよい、ということもまた理解されるであろう。

10

【0081】

更に、本開示は、以下の条項による例を含む。

【0082】

条項1. 複合構造体を製造するシステムであって、複合構造体の構成要素を支持するように構成された表面、並びに表面が分割されてできる複数の温度ゾーンを提供するように構成された複数の加熱/冷却デバイスであって、複数の加熱/冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンが、多次元アレイに配列され、構成要素からの複合構造体の製造中に構成要素のうちの1つの構成要素の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するように独立に制御可能である、複数の加熱/冷却デバイスを有するツール；空間的に分布した複数の点のそれぞれの点において構成要素の特性を感知し、それに対応するセンサデータを提供するように構成された複数のセンサ；複数のセンサに接続され、構成要素又は複合構造体のための定められた品質目標を達成するための制御データを生成するように構成された機械学習アルゴリズムにセンサデータを適用するように構成された計算デバイス；並びに計算デバイス及びツールに接続され、構成要素又は複合構造体を定められた品質目標へ進めるための制御データに従って、構成要素の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するために、複数の加熱/冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンを独立に制御するように構成されたコントローラを備えるシステムであり、構成要素からの複合構造体の製造中の複数の時期に、複数のセンサが、特性を感知し、それに対応するセンサデータを提供するように構成され、計算デバイスが、センサデータを機械学習アルゴリズムに適用するように構成され、コントローラが、複数の加熱/冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンを独立に制御するように構成され、機械学習アルゴリズムは、構成要素又は複合構造体が定められた品質目標に進むのを増進させることを、複数の時期にわたって学習する、システム。

20

30

【0083】

条項2. 複数のセンサのうちの各センサが、それぞれの温度ゾーンに関連付けられ、それぞれの温度ゾーンにおける複合構造体の特性を感知するように構成される、条項1に記載のシステム。

40

【0084】

条項3. 複合構造体の構成要素が、樹脂を予め含浸された又は樹脂を注入されるべき繊維のベッドを含み、複数の加熱/冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンが、樹脂の温度を局所的に加熱、冷却、又は維持するように独立に制御可能である、条項1又は2に記載のシステム。

【0085】

条項4. 構成要素の特性が、樹脂の有無、温度、圧力若しくは硬化度、又は繊維のベッドの面外ゆがみである、条項3に記載のシステム。

【0086】

条項5. 複合構造体の製造が、繊維のベッドに樹脂を注入するための繊維のベッドに

50

わたる樹脂のフローを含み、構成要素又は複合構造体の定められた品質目標が、樹脂のフローのフロントの所望の形状を含み、機械学習アルゴリズムが、樹脂のフローのフロントの所望の形状を達成するための制御データを生成するように構成され、コントローラが、樹脂の温度を局所的に加熱、冷却又は維持して、樹脂の粘度を局所的に制御し、それにより樹脂のフローのフロントを所望の形状に進路誘導するために、複数の加熱／冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンを独立に制御するように構成される、条項 3 又は 4 に記載のシステム。

【 0 0 8 7 】

条項 6 . 構成要素の特性が、樹脂の有無であり、計算デバイスが、機械学習アルゴリズムにセンサデータを適用するように構成されることは、少なくとも、空間的に分布した複数の点のそれぞれの点において樹脂の有無を示す繊維のベッドのバイナリイメージビットマップを生成し；ビットマップから樹脂のフローのフロントの輪郭を抽出して、一群のベクトル点を生成し；一群のベクトル点のベクトル点に沿って、空間的に分布した複数のそれぞれの点の少なくとも一部の各点における曲率を測定し、それにより、空間的に分布した複数のそれぞれの点の少なくとも一部の各々においてペナルティ又は報酬を曲率の統計値に基づいて選択的に適用するように構成された機械学習アルゴリズムへの適用のための曲率の統計値を生成するように、構成されることを含む、条項 5 に記載のシステム。

10

【 0 0 8 8 】

条項 7 . 機械学習アルゴリズムが、ペナルティ又は報酬を選択的に適用するように構成されることは、空間的に分布した複数のそれぞれの点の少なくとも一部の各点について、ペナルティ又は報酬を、それぞれ、その点における大きい曲率又は小さい曲率に対して選択的に適用するように構成されることを含む、機械学習アルゴリズムは、樹脂のフローの真っ直ぐなフロントの定められた品質目標を達成するための制御データを生成するように構成される、条項 6 に記載のシステム。

20

【 0 0 8 9 】

条項 8 . 複合構造体の製造は、樹脂の硬化を含み、構成要素又は複合構造体に対する定められた品質目標は、複合構造体の所望の形状を含み、機械学習アルゴリズムは、複合構造体の所望の形状を達成するための制御データを生成するように構成され、コントローラは、樹脂の温度を局所的に加熱、冷却又は維持して、樹脂の温度勾配及び硬化度を、並びにそれにより、複合構造体の任意のスプリングバックに対抗する複合構造体内部のプロセス誘起のひずみを局所的に制御するために、複数の加熱／冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンを独立に制御するように構成される、条項 3 から 7 のいずれか一項に記載のシステム。

30

【 0 0 9 0 】

条項 9 . 複合構造体の構成要素は、各々のプライが樹脂を予め含浸されている又は結合剤で結び付けられている、複数の繊維のプライを含み、複数の加熱／冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンが、樹脂又は結合剤の温度を局所的に加熱、冷却、又は維持するように独立に制御可能であり、複合構造体の製造は、複数のプライのうちの第一のプライのレイアップ及びプライ圧密化を含み、構成要素又は複合構造体に対する定められた品質目標は、複数のプライのうちの第一のプライのレイアップ又はプライ圧密化の間に形成された面外繊維ゆがみの最小化を含み、機械学習アルゴリズムは、面外繊維ゆがみの最小化を達成するための制御データを生成するように構成され、コントローラは、樹脂又は結合剤の温度を局所的に加熱、冷却、又は維持して、複数のプライのうちの第一のプライのレイアップ又はプライ圧密化の間に樹脂又は結合剤の摩擦粘度を局所的に制御するために、複数の加熱／冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンを独立に制御するように構成される、条項 1 から 8 のいずれか一項に記載のシステム。

40

【 0 0 9 1 】

条項 10 . 構成要素の特性が、複数のプライのうちの第一のプライのレイアップ又はプライ圧密化の間の複合構造体の厚さであり、その変化が面外繊維ゆがみを示す、条項 9 に記載のシステム。

50

【 0 0 9 2 】

条項 1 1 . 複合構造体を製造する方法であって、ツールの表面上に複合構造体の要素を支持することであって、複数の加熱 / 冷却デバイスが、表面が分割されてできる複数の温度ゾーンを提供するように構成され、複数の加熱 / 冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンが、多次元アレイに配列され、構成要素からの複合構造体の製造中に複数の構成要素のうちの 1 つの構成要素の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するように独立に制御可能である、支持すること ; 複数のセンサによって、空間的に分布した複数の点のそれぞれの点において構成要素の特性を感知し、それに対応するセンサデータを提供すること ; 構成要素又は複合構造体に対する定められた品質目標を達成するための制御データを生成する機械学習アルゴリズムにセンサデータを適用すること ; 並びに構成要素又は複合構造体を定められた品質目標へ進めるための制御データに従って、構成要素の温度を局所的に加熱、冷却又は維持するために、複数の加熱 / 冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンを独立に制御することを含み、特性を感知し、それに対応するセンサデータを提供すること、センサデータを機械学習アルゴリズムに適用すること、並びに複数の加熱 / 冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンを独立に制御することは、構成要素からの複合構造体の製造中の複数の時期において起こり、機械学習アルゴリズムは、構成要素又は複合構造体が定められた品質目標に進むのを増進させることを、複数の時期にわたって学習する、方法。

10

【 0 0 9 3 】

条項 1 2 . 複数のセンサのうちの各センサが、それぞれの温度ゾーンに関連付けられ、それぞれの温度ゾーンにおける複合構造体の特性を感知する、条項 1 1 に記載の方法。

20

【 0 0 9 4 】

条項 1 3 . 複合構造体の構成要素が、樹脂を予め含浸された又は樹脂を注入されるべき繊維のベッドを含み、複数の加熱 / 冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンが、樹脂の温度を局所的に加熱、冷却、又は維持するように独立に制御可能である、条項 1 1 又は 1 2 に記載の方法。

【 0 0 9 5 】

条項 1 4 . 構成要素の特性が、樹脂の有無、温度、圧力若しくは硬化度、又は繊維のベッドの面外ゆがみである、条項 1 3 に記載の方法。

【 0 0 9 6 】

条項 1 5 . 複合構造体の製造が、繊維のベッドに樹脂を注入するための繊維のベッドにわたる樹脂のフローを含み、構成要素又は複合構造体の定められた品質目標が、樹脂のフローのフロントの所望の形状を含み、機械学習アルゴリズムが、樹脂のフローのフロントの所望の形状を達成するための制御データを生成し、複数の加熱 / 冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンが、樹脂の温度を局所的に加熱、冷却又は維持して、樹脂の粘度を局所的に制御し、それにより樹脂のフローのフロントを所望の形状に進路誘導するために、独立に制御される、条項 1 3 又は 1 4 に記載の方法。

30

【 0 0 9 7 】

条項 1 6 . 構成要素の特性が、樹脂の有無であり、機械学習アルゴリズムにセンサデータを適用することは、空間的に分布した複数の点のそれぞれの点において樹脂の有無を示す繊維のベッドのバイナリイメージビットマップを生成すること ; ビットマップから樹脂のフローのフロントの輪郭を抽出して、一群のベクトル点を生成すること ; 並びに一群のベクトル点のベクトル点に沿って、空間的に分布した複数のそれぞれの点の少なくとも一部の各点における曲率を測定し、それにより、空間的に分布した複数のそれぞれの点の少なくとも一部の各々においてペナルティ又は報酬を曲率の統計値に基づいて選択的に適用する機械学習アルゴリズムへの適用のための曲率の統計値を生成すること、を少なくとも含む、条項 1 5 に記載の方法。

40

【 0 0 9 8 】

条項 1 7 . 機械学習アルゴリズムが、ペナルティ又は報酬を選択的に適用することは、空間的に分布した複数のそれぞれの点の少なくとも一部の各点について、ペナルティ又

50

は報酬を、それぞれ、その点における大きい曲率又は小さい曲率に対して選択的に適用することを含み、機械学習アルゴリズムは、樹脂のフローの真っ直ぐなフロントの定められた品質目標を達成するための制御データを生成する、条項 16 に記載の方法。

【0099】

条項 18 . 複合構造体の製造が、樹脂の硬化を含み、構成要素又は複合構造体に対する定められた品質目標が、複合構造体の所望の形状を含み、機械学習アルゴリズムが、複合構造体の所望の形状を達成するための制御データを生成し、複数の加熱/冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンが、樹脂の温度を局所的に加熱、冷却又は維持して、樹脂の温度勾配及び硬化度を、並びにそれにより、複合構造体の任意のスプリングバックに対抗する複合構造体内部のプロセス誘起のひずみを局所的に制御するために、独立に制御される、条項 13 から 17 のいずれか一項に記載の方法。

10

【0100】

条項 19 . 複合構造体の構成要素は、各々のプライが樹脂を予め含浸されている又は結合剤で結び付けられている、複数の繊維のプライを含み、複数の加熱/冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンが、樹脂又は結合剤の温度を局所的に加熱、冷却、又は維持するように独立に制御可能であり、複合構造体の製造が、複数のプライのうちの第一のプライのレイアップ及びプライ圧密化を含み、構成要素又は複合構造体に対する定められた品質目標が、複数のプライのうちの第一のプライのレイアップ又はプライ圧密化の間に形成された面外繊維ゆがみの最小化を含み、機械学習アルゴリズムが、面外繊維ゆがみの最小化を達成するための制御データを生成し、複数の加熱/冷却デバイス及びそれにより複数の温度ゾーンが、樹脂又は結合剤の温度を局所的に加熱、冷却、又は維持して、複数のプライのうちの第一のプライのレイアップ又はプライ圧密化の間に樹脂又は結合剤の摩擦粘度を局所的に制御するために、独立に制御される、条項 11 から 18 のいずれか一項に記載の方法。

20

【0101】

条項 20 . 構成要素の特性が、複数のプライのうちの第一のプライのレイアップ又はプライ圧密化の間の複合構造体の厚さであり、その変化が面外繊維ゆがみを示す、条項 19 に記載の方法。

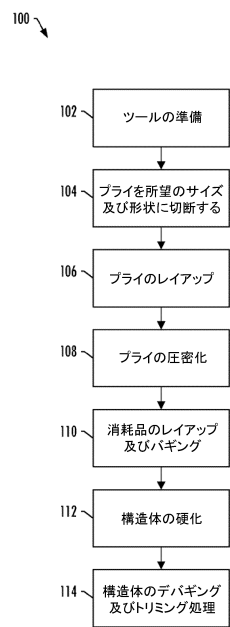
【0102】

本書に記載された開示の多くの修正及び他の実施形態が、本開示に関連して、前述の記載及び添付の図面に提示された教示の利益を有する技術分野における当業者に思い浮かぶであろう。それ故、本開示は、開示されている特定の実施形態に限定されるべきでなく、修正及び他の実施形態が、添付の特許請求の範囲内に含まれることが意図される、ということが理解されるべきである。更に、前述の記載及び添付の図面は、要素及び/又は機能のある例示的な組合せの状況における例示的な実施形態を記載するけれども、要素及び/又は機能の異なる組合せが、添付の特許請求の範囲から逸脱することなく、代替的な実施形態によって提供され得る、ということが認識されるべきである。この点において、例えば、上で明示的に記載されたものと異なる組合せの要素及び/又は機能もまた、添付の特許請求の範囲のうちの幾つかに記述され得るように、予期されている。具体的な用語が本書において用いられているが、それらは、一般的かつ記述的な意味でのみ用いられており、限定の目的ではない。

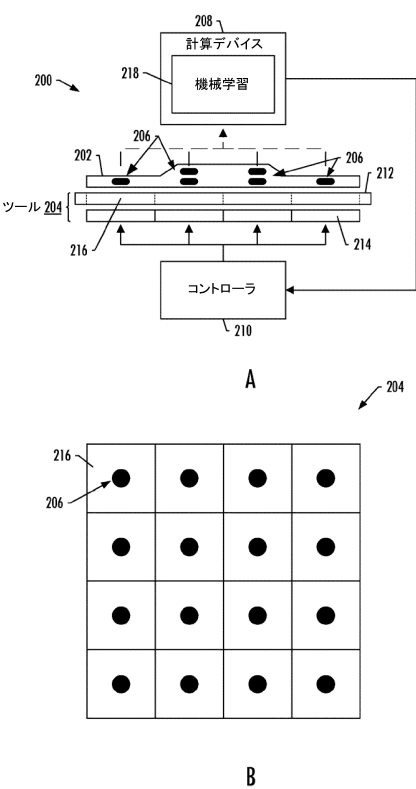
30

40

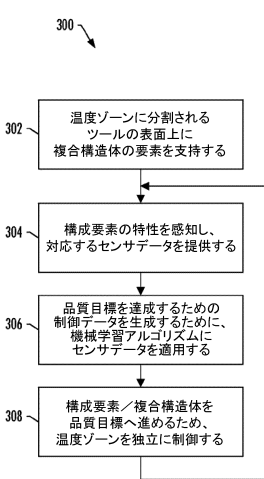
【 図 1 】



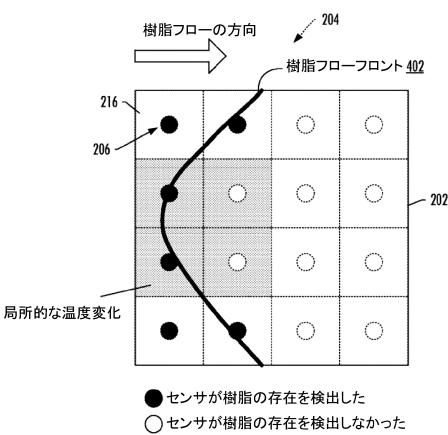
【 図 2 】



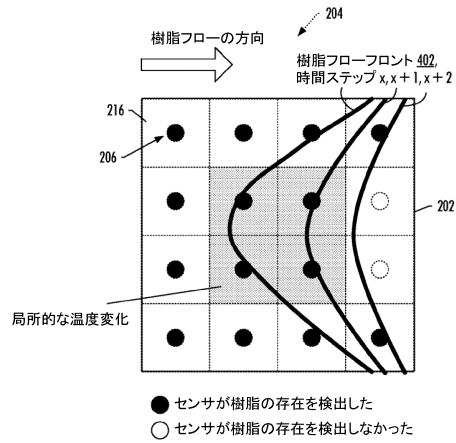
【 図 3 】



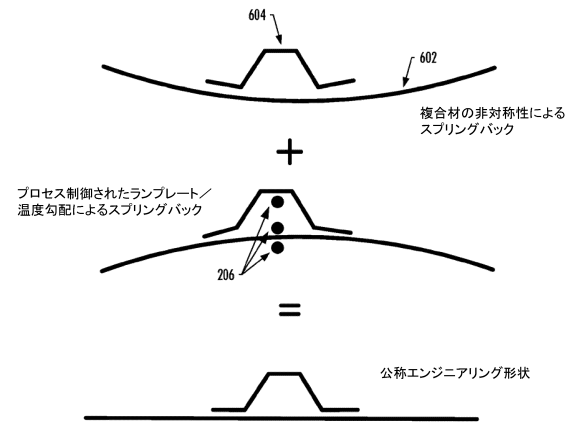
【 図 4 A 】



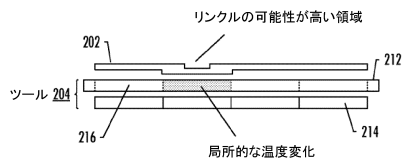
【図 4 B】



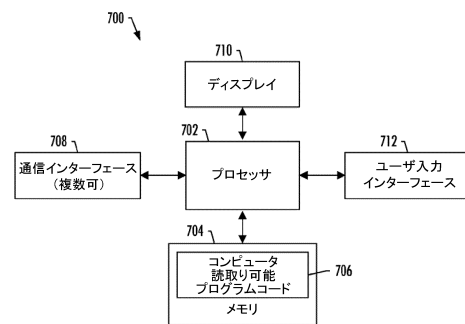
【図 6】



【図 5】



【図 7】



フロントページの続き

- (72)発明者 オズボーン, マックス エム.
アメリカ合衆国 カリフォルニア 92647, ハンティントン ビーチ, ボルサ アヴェニ
ュー 5301, シーノオー ザ ボーイング カンパニー
- (72)発明者 サールスキー, マーティン エー.
アメリカ合衆国 カリフォルニア 92647, ハンティントン ビーチ, ボルサ アヴェニ
ュー 5301, シーノオー ザ ボーイング カンパニー
- (72)発明者 リゲティ, ロニー ケー.
アメリカ合衆国 カリフォルニア 92647, ハンティントン ビーチ, ボルサ アヴェニ
ュー 5301, シーノオー ザ ボーイング カンパニー
- (72)発明者 ブーク, デイビッド
アメリカ合衆国 カリフォルニア 92647, ハンティントン ビーチ, ボルサ アヴェニ
ュー 5301, シーノオー ザ ボーイング カンパニー
- (72)発明者 グリン, アンドリュー ケー.
アメリカ合衆国 カリフォルニア 92647, ハンティントン ビーチ, ボルサ アヴェニ
ュー 5301, シーノオー ザ ボーイング カンパニー

審査官 関口 貴夫

- (56)参考文献 国際公開第89/008542(WO, A1)
実開平07-005715(JP, U)
特開2009-274138(JP, A)
特開2008-149632(JP, A)
中国実用新案第201633213(CN, U)
米国特許第07225560(US, B2)
米国特許第08511326(US, B2)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B29C 70/00 - 70/88