

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6890431号
(P6890431)

(45) 発行日 令和3年6月18日(2021.6.18)

(24) 登録日 令和3年5月27日(2021.5.27)

(51) Int.Cl.	F I
B 2 9 C 70/38 (2006.01)	B 2 9 C 70/38
B 2 9 C 70/06 (2006.01)	B 2 9 C 70/06
B 6 4 C 1/00 (2006.01)	B 6 4 C 1/00 B
B 6 4 C 1/12 (2006.01)	B 6 4 C 1/12
B 2 9 K 105/08 (2006.01)	B 2 9 K 105:08

請求項の数 15 外国語出願 (全 42 頁)

(21) 出願番号	特願2017-18263 (P2017-18263)	(73) 特許権者	500520743
(22) 出願日	平成29年2月3日(2017.2.3)		ザ・ボーイング・カンパニー
(65) 公開番号	特開2017-200753 (P2017-200753A)		The Boeing Company
(43) 公開日	平成29年11月9日(2017.11.9)		アメリカ合衆国、60606-2016
審査請求日	令和2年1月28日(2020.1.28)		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	15/018,075	(74) 代理人	110002077
(32) 優先日	平成28年2月8日(2016.2.8)		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	カン, ローラ スミ
(31) 優先権主張番号	15/399,104		アメリカ合衆国 イリノイ 60606,
(32) 優先日	平成29年1月5日(2017.1.5)		シカゴ, ノース リバーサイド プラザ 100
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多層複合部品のためのプライ最適化実行可能性分析

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

多層複合部品を設計することを含む方法であって、

前記多層複合部品を、その深さに沿って、各々が前記多層複合部品内に連続的な層の積み重ねを備えた複数のブロックへ更に分割すること(502)、

如何にして異なる繊維配向を有する層が、前記多層複合部品内に積み重ねられるかを制約する規則を特定すること(504)、

前記ブロックの各層に対する繊維配向を規定し且つ前記規則に従う、前記ブロックのためのガイドを生成すること(506)、

前記ブロックのための前記ガイドに適合し且つ前記規則に従う、前記ブロックのための連続的なプライシーケンスを備えたサブミネートを特定すること(508)、

前記多層複合部品を、各々が前記多層複合部品の領域の断片を備えた複数のパネルへ更に分割すること(510)、及び

隣接する前記パネルのための適合したサブミネートに基づいて、前記ブロックの前記パネルのうちの1つに対して、前記適合したサブミネートのうちの1つを選択すること(512)によって、設計することを含む、方法。

【請求項2】

前記適合したサブミネートのうちの1つを選択することが、

前記多層複合部品のうちの1つの層内のプライ形状の総計の境界の長さを低減させる、1つの適合したサブミネートを選択することを含む、請求項1に記載の方法。

10

20

【請求項 3】

前記適合したサブラミネートのうちの1つを選択することが、
前記多層複合部品内のプライ形状を生成するために実行される切断の総計の数を低減させる、1つの適合したサブラミネートを選択することを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 4】

前記適合したサブラミネートのうちの1つを選択することが、
前記多層複合部品内のプライ形状のための平均コース長さを増加させる、1つの適合したサブラミネートを選択することを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 5】

前記適合したサブラミネートのうちの1つを選択することが、
前記多層複合部品内のプライ形状のための内部コーナーの総計の数を低減させる、1つの適合したサブラミネートを選択することを含む、請求項1に記載の方法。

10

【請求項 6】

前記サブラミネートが、前記パネルに繊維が付けられていない空の層を含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 7】

前記サブラミネートが、前記規則に違反することなしに、前記多層複合部品内で互いの上に積み重ねられるように構成されている、請求項1に記載の方法。

【請求項 8】

多層複合部品(150)の形状を示す入力を受信するように構成されたインターフェース(114)、

20

前記多層複合部品を、その深さに沿って、各々が前記多層複合部品内に連続的な層の積み重ね(410)を備えた複数のブロック(B1、B2)へ更に分割すること、如何にして異なる繊維配向を有する層が、前記多層複合部品内に積み重ねられるかを制約する規則を特定すること、前記ブロックの各層に対する繊維配向を規定し且つ前記規則に従う、前記ブロックのためのガイドを生成すること、前記ブロックのための前記ガイドに適合し且つ前記規則に従う、前記ブロックのための連続的なプライシーケンスを備えたサブラミネートを特定すること、前記多層複合部品を、各々が前記多層複合部品の領域の断片を備えた複数のパネル(310)へ更に分割すること、及び隣接する前記パネルのための適合したサブラミネートに基づいて、前記ブロックの前記パネルのうちの1つに対して、前記適合したサブラミネートのうちの1つを選択することによって、前記多層複合部品のための設計を生成するように構成された、コントローラ(112)、並びに

30

前記設計を、前記多層複合部品を構築する自動繊維配置(AFP)機による使用のために選択されたサブラミネートの組み合わせとして記憶するように構成された、メモリを備える、装置。

【請求項 9】

前記コントローラが、前記多層複合部品のうちの1つの層内のプライ形状の総計の境界の長さを低減させる、1つの適合したサブラミネートを選択することによって、1つの適合したサブラミネートを選択するように構成されている、請求項8に記載の装置。

【請求項 10】

前記コントローラが、前記多層複合部品内のプライ形状を生成するために実行される切断の総計の数を低減させる、1つ適合したサブラミネートを選択することによって、1つの適合したサブラミネートを選択するように構成されている、請求項8に記載の装置。

40

【請求項 11】

前記コントローラが、前記多層複合部品内のプライ形状のための平均コース長さを増加させる、1つの適合したサブラミネートを選択することによって、1つの適合したサブラミネートを選択するように構成されている、請求項8に記載の装置。

【請求項 12】

前記コントローラが、前記多層複合部品内のプライ形状のための内部コーナーの総計の数を低減させる、1つの適合したサブラミネートを選択することによって、1つの適合し

50

たサブミネートを選択するように構成されている、請求項 8 に記載の装置。

【請求項 1 3】

前記適合したサブミネートが、前記パネルに繊維が付けられていない空の層を含む、請求項 8 に記載の装置。

【請求項 1 4】

前記適合したサブミネートが、前記規則に違反することなしに、前記多層複合部品内で互いと共に積み重ねられることができる、請求項 8 に記載の装置。

【請求項 1 5】

プロセッサによって実行されたときに、方法を実行するために動作可能な、プログラムされた指示命令を有する、非一時的コンピュータ可読媒体であって、前記方法が、
多層複合部品を設計することであって、

前記多層複合部品を、その深さに沿って、各々が前記多層複合部品内に連続的な層の積み重ねを備えた複数のブロックへ更に分割すること(502)、

如何にして異なる繊維配向を有する層が、前記多層複合部品内に積み重ねられるかを制約する規則を特定すること(504)、

前記ブロックの各層に対する繊維配向を規定し且つ前記規則に従う、前記ブロックのためのガイドを生成すること(506)、

前記ブロックのための前記ガイドに適合し且つ前記規則に従う、前記ブロックのための連続的なプライシーケンスを備えたサブミネートを特定すること(508)、

前記多層複合部品を、各々が前記多層複合部品の領域の断片を備えた複数のパネルへ更に分割すること(510)、及び

隣接する前記パネルのための適合したサブミネートに基づいて、前記ブロックの前記パネルのうちの 1 つに対して、前記適合したサブミネートのうちの 1 つを選択すること(512)によって、設計することを含む、媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、複合部品製造の分野に関し、特に、多層複合部品の設計に関する。

【背景技術】

【0002】

多くの複合部品(例えば、航空機の翼などの炭素繊維製品)は、時間をかけて共に接合/硬化される一連の垂直に積み重ねられたプライとして生成される。このやり方において、構成材料のプライは、繰り返しレイアップされ硬化されて複合部品へと強化される。種々の方向において加えられる応力に対する複合部品の強度を高めるために、複合部品内の構成材料の各プライは、隣接するプライの繊維とは異なる方向において方向付けられた繊維を含み得る。部品内のプライのための繊維配向の組み合わせが、種々の応力に対する部品の強度を決定する。

【0003】

パネルへ分割される複雑な部品に対して、プロセスはより複雑になる。例えば、部品のための設計が、繊維配向の複雑で異なるパターンを決定し得る。これらの繊維配向は、共に部品を形成する複数のパネルにわたり更に変動し得る。大きな応力に耐えることが企図され且つ必要不可欠な複雑な部品(例えば、航空機の翼)では、望ましい強度がもたらされることを保証するのが、複雑なプロセスのままである。したがって、複合部品を設計するための現在の技術は、部品の強度を保証することに力を注いでおり、所与の部品のための製造効率に対処していない。

【発明の概要】

【0004】

本明細書で説明される実施形態は、複合部品のためのプライレイアップシーケンスを計算する、最適化システムを改良する。特に、本明細書で説明される実施形態は、多層の複数パネルの複合部品ための最適化システムが、解決策(solution)が生成される

10

20

30

40

50

ことを可能にするパラメータを使用することを保証する。多くの最適化システムは、使用毎のライセンス料の支払いを必要とする。更に、多くの最適化システムは、パラメータに従う解決策を特定及び評価するのに時間がかかり得る。したがって、解決できないパラメータの組み合わせを先に特定することは、最適化システムを実行することに含まれる費用及び時間を有益に削減する。

【0005】

一実施形態は、各々が複合部品の領域の断片を備える、複数のパネルへ更に分割される、多層複合部品の層のための繊維配向を最適化する実行可能性を選択的に分析するための方法である。該方法は、最適化の間に利用される連続的に積み重ねられた層を備える、サブラミネートの組成を制約する、積み重ねシーケンス規則 (stacking sequence rule) を特定することを含む。複合部品の各パネルに対して、該方法は、パネルにおけるプライの数を制約するプライカウントを特定すること、パネルの最適化の間に利用するサブラミネートの数を選択すること、サブラミネートの数及び積み重ねシーケンス規則に基づいて、ラミネートのためのプライカウントの範囲を計算すること、及びパネルに対するプライカウントが、ラミネートのためのプライカウントの範囲に従うか否かを判定することによって、パネルを分析する。該方法は、更に、パネルに対するプライカウントが、ラミネートのためのプライカウントの範囲に従うか否かを示す、レポートを提示すべき旨の指示命令を送信する。

10

【0006】

更なる一実施形態は、プロセッサによって実行されたときに、各々が複合部品の領域の断片を備える複数のパネルへ分割される、多層複合部品の層のための繊維配向を最適化する実行可能性を選択的に分析するための方法を実行するように動作可能な、プログラムされた指示命令を有する、非一時的コンピュータ可読媒体である。該方法は、最適化の間に利用される連続的に積み重ねられた層を備える、サブラミネートの組成を制約する、積み重ねシーケンス規則を特定することを含む。複合部品の各パネルに対して、該方法は、パネルにおけるプライの数を制約するプライカウントを特定すること、パネルの最適化の間に利用するサブラミネートの数を選択すること、サブラミネートの数及び積み重ねシーケンス規則に基づいて、ラミネートのためのプライカウントの範囲を計算すること、及びパネルに対するプライカウントが、ラミネートのためのプライカウントの範囲に従うか否かを判定することによって、パネルを分析する。該方法は、パネルに対するプライカウントが、ラミネートのためのプライカウントの範囲に従うか否かを示す、レポートを提示すべき旨の指示命令を送信することを含む。

20

30

【0007】

更なる一実施形態は、多層複合部品の形状を示す入力を受信するインターフェースと、複合部品を、各々が複合部品の領域の断片を備える複数のパネルへ更に分割すること、及びそれらのパネルの層に対して繊維配向を選択するように、最適化に携わることによって、部品のための設計を生成するコントローラとを含む、システムである。コントローラは、最適化の間に利用される連続的に積み重ねられた層を備えるサブラミネートの組成を制約する積み重ねシーケンス規則を特定し、複合部品の各パネルに対して、パネルにおけるプライの数を制約するプライカウントを特定することによってパネルを分析し、パネルの最適化の間に利用するサブラミネートの数を選択し、サブラミネートの数及び積み重ねシーケンス規則に基づいて、ラミネートのためのプライカウントの範囲を計算し、且つ、パネルに対するプライカウントが、ラミネートのためのプライカウントの範囲に従うか否かを判定する。該コントローラは、パネルに対するプライカウントが、ラミネートのためのプライカウントの範囲に従うか否かを示す、レポートを提示すべき旨の指示命令を送信する。

40

【0008】

他の例示的な実施形態 (例えば、前述の実施形態に関連する方法及びコンピュータ可読媒体) が、後述されるだろう。上述の特徴、機能、及び利点は、様々な実施形態において独立に実現することが可能であり、また別の実施形態において組み合わせることも可能で

50

ある。これらの実施形態について、以下の説明および添付図面を参照して更に詳細に説明する。

【0009】

今度は、本開示の幾つかの実施形態が、添付図面を参照し例示としてのみ説明される。全ての図面において、同じ参照番号は、同じ要素又は同じタイプの要素を表す。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】例示的な一実施形態における、複合製造環境のブロック図である。

【図2】例示的な一実施形態における、航空機の図である。

【図3】例示的な一実施形態における、複数のパネルへ分割された複合部品を含む航空機の翼の図である。

10

【図4】例示的な一実施形態における、複数のパネルへ分割された多層を含む部品の一部分の設計の図である。

【図5】例示的な一実施形態における、複合設計システムを動作させるための方法を示すフローチャートである。

【図6】例示的な一実施形態における、プライシーケンスのための例示的な最適化メトリック (optimization metric) を示す。

【図7】例示的な一実施形態における、プライシーケンスのための例示的な最適化メトリックを示す。

【図8】例示的な実施形態における、プライシーケンスのための例示的な最適化メトリックを示す。

20

【図9】例示的な一実施形態における、プライシーケンスのための例示的な最適化メトリックを示す。

【図10】複合部品のための設計と複合部品をもたらす生産物との間の関係を示す図である。

【図11】例示的な一実施形態における、複合部品のブロックに適合したサブミネートを示すチャートである。

【図12】例示的な一実施形態における、複合設計システムを動作させるために実施される更なるステップを示すフローチャートである。

【図13】例示的な一実施形態における、複合部品の6つの隣接するパネルの一组を示す。

30

【図14】例示的な一実施形態における、6つの隣接するパネルを備えた複合部品のブロックに対する例示的な設計を示す。

【図15】図13の設計に基づく、図12の複合部品の多層の各々に対するプライ形状を示す。

【図16】例示的な一実施形態における、最適化に携わる前の、一组の規則の実行可能性を分析するための方法を示すフローチャートである。

【図17】例示的な一実施形態における、複合部品のパネルに対するプライカウントのためのプライカウントの範囲の比較を示す表である。

【図18】検出された適合性の問題をユーザへ示すためのディスプレイを介して提示されたレポートを示す。

40

【図19】例示的な一実施形態における、複合設計システムのコントローラの構成要素を示すブロック図である。

【図20】例示的な一実施形態における、サブミネートのライブラリを生成するための方法を示すフローチャートである。

【図21】例示的な一実施形態における、サブミネートのライブラリを生成するための方法を示すフローチャートである。

【図22】例示的な一実施形態における、サブミネートのライブラリを生成するために使用される整数ツリー (integer tree) の枝分かれを示す図である。

【図23】航空機の製造及び保守方法のフロー図である。

50

【図 2 4】例示的な実施形態における、航空機のブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

図面及び下記の記載により、本開示の具体的な例示的な実施形態が示される。したがって、当業者は、本明細書に明示的に記載又は図示されていない様々な装置を考案して本開示の原理を実施することができるが、それらは本開示の範囲に含まれることを理解されたい。更に、本明細書に記載の如何なる実施例も、本開示の原理の理解を助けるためのものであって、それらの具体的に記載された実施例や諸条件を限定しないものとして理解されるべきである。結果として、本開示は、下記の具体的な実施形態又は実施例に限定されず、特許請求の範囲及びその均等物によって限定される。

10

【0012】

図 1 は、例示的な一実施形態における、複合製造環境 100 のブロック図である。図 1 によれば、環境 100 は、複合部品 150 を設計することができる複合設計システム 110 を含む。複合設計システム 110 は、部品 150 が望ましい強度を有することを保証する、積み重ねシーケンス規則に従うように、部品 150 を最適化する。複合設計システム 110 は、部品 150 が、AFP 機 140 によって効率的に製造されることができるとも保証する。

【0013】

この実施形態では、複合設計システム 110 が、コントローラ 112、インターフェース (I/F) 114、メモリ 116、及びディスプレイ 118 (例えば、記憶された情報を提示するためのスクリーン) を含む。コントローラ 112 は、I/F 114 を利用して、如何にして部品 150 が製造され得るかを制約する規則、部品 150 の形状を表す情報、及び/又は他の情報にアクセスする。I/F 114 は、ネットワーク 120 を介してサーバ 130 からこの情報を取得し得る。コントローラ 112 は、部品 150 のための設計も生成し、設計が AFP 機 140 の時間をより効率的に利用することを保証するように、設計を最適化する。これらの設計は、コントローラ 112 によってメモリ 116 内に記憶され得る。例えば、コントローラ 112 は、カスタム回路として、プログラムされた指示命令を実行するプロセッサとして、又はそれらの何らかの組み合わせとして実装され得る。I/F 114 は、(例えば、ネットワーク 120 を介して) データを送信するための回路及び/又は構成要素の任意の適切な組み合わせを備える。メモリ 116 は、ハードディスク、フラッシュメモリなどの、任意の適切なデータ記憶デバイスを備える。

20

30

【0014】

複合設計システム 110 の動作の更なる詳細が、以下の図 5 に関して説明される。しかし、システム 110 によって設計され得る例示的な複合部品を示す文脈を提供するために、図 5 の前に、図 2 ~ 図 4 が説明される。

【0015】

図 2 は、例示的な一実施形態における、航空機 200 の図である。航空機 200 は、ノーズ 210、翼 220、胴体 230、及び尾部 240 を含む。航空機 200 の更なる説明は、翼 220 の複数パネルの多層複合部品に対して集中的に行われる。しかし、本明細書で説明されるものと類似の技法が、任意の適切な複合部品に適用され得る。

40

【0016】

図 3 は、例示的な一実施形態における、パネル 310 へ分割された複合部品 150 を含む航空機の翼 220 の図である。特に、複合部品 150 は、上側翼外板の一部を備える。図 3 のための視界が、図 2 のビュー矢印 (view arrow) 3 によって示されている。この図で示されているように、各パネル 310 は、部品 150 の領域の小さい一部分を備える。図 3 に沿ったビュー矢印 L は、翼 220 の長さに沿った可能な視界を示している。

【0017】

図 4 は、例示的な一実施形態における、パネル 310 へ分割された多層 410 を含む部品 150 の一部分のための設計 400 の図である。如何にして図 4 が図 3 と位置合わせさ

50

れるかを示すために、図4は、図3で示された視界Lのための矢印を含んでいる。図4は、部品150が多層410を含むことを示している。層410は、AFP機140が次の層をレイアップするために進む前に、設計400内のどのパネルが、AFP機140によって同じ繊維配向において部品150の上にレイアップされるかを示している。次の層は、異なる繊維配向を有するか、又は以前の層内で既に覆われた1以上のパネルを覆うプライを有するかの何れかであり得る。したがって、部品150が硬化を経験して部品150の上にプライを強化する前に、層が、部品150の上にAFP機140によって横たえられるプライの各々を指定し得る。本明細書で使用される際に、単一層のために物理的に横たえられるプライの組み合わせが、「プライシーケンス」と呼ばれるが、一方、単一層内のプライの連続的な組み合わせは、「プライ形状」と呼ばれる。例えば、プライシーケンスは、1つのプライ形状又は複数のプライ形状を含み得る。図4は、各層410が複数のパネル310へ分割されることも示している。各層410の各パネル310は、選ばれた設計に応じて、プライを用いてレイアップされるかもしれないし又はされないかもしれない。

10

【0018】

幾つかの特定の積み重ねシーケンス規則/ガイダンスが使用されて、部品150が望ましい強度を示し且つその寿命の間に加えられる応力に耐え得ることを保証するために、如何にして部品150の層にわたり繊維が方向付けられるかを決定し得る。これらは、「積み重ねシーケンス規則」と呼ばれ得る。図4では、設計400が、部品150をその深さ（本明細書では、Z方向）に沿って複数のブロック（B1、B2）へ分割する。各ブロックは、部品150内に一組の連続的な層を備える。部品150を複数のブロックへ分割することによって、プライシーケンスは、積み重ねシーケンス規則に従うようにブロック毎に最適化され得る。ブロック毎の最適化は、複合部品のための最適化プロセスが、適切な量の時間で完了できることを保証する助けとなる。

20

【0019】

複合設計システム110の動作の例示的な詳細が、図5に関連して説明される。この実施形態に対して、複合部品150のための新しい設計が複合設計システム110によって生成され、新しい設計は、部品150が適切な強度を有することを保証するために、積み重ねシーケンス規則に従うことを想定する。同時に、システム110は、AFP機140における時間がより効率的に利用されることを保証するために、製造可能性のための新しい設計を最適化する。

30

【0020】

図5は、例示的な一実施形態における、多層複合部品150を設計するための方法500を示すフローチャートである。方法500のステップは、図1の複合設計システム110を参照して説明されるが、当業者は、方法500が他のシステムでも実施され得ることを理解するだろう。本明細書に記載のフローチャートのステップは、網羅的なものでなく、図示されていない他のステップを含み得る。本明細書に記載のステップは、他の順序でも実施され得る。

【0021】

コントローラ112は、I/F114を介して、多層部品（部品150）の形状を示す入力を受信することによって開始する。この情報は、部品150内でどのパネルが隣接するかを示し、各異なる繊維配向が各パネル（例えば、部品150内の各完成したパネルの最終的な深さ/厚さ及び組成）において横たえられるための予測されたプライの数を更に含み得る。複雑な設計では、部品150が、その長さに沿って変動する厚さを示し、それによって、あるパネルは他のパネルよりも多くのプライを含み得る。形状の情報は、その深さに沿って部品150を複数の層及び/又はブロックへ更に分割する情報を更に含み得る。図5によれば、ステップ502において、コントローラ112が、部品150をブロック（例えば、ブロックB1とB2）へ更に分割する。各ブロックは、部品150の層の連続的なサブセット/積み重ねを備える。複数のブロックへの部品150のこの更なる分割は、部品150が、コントローラ112によってブロック毎に最適化されることを可能

40

50

にする。

【 0 0 2 2 】

ステップ 5 0 4 では、コントローラ 1 1 2 が、如何にして異なる繊維配向を有する複数の層が、部品 1 5 0 内で積み重ねられるかを制約する、積み重ねシーケンス規則を特定する。一実施形態では、該規則が、層のための 4 つの可能な繊維配向 (0 °、4 5 °、- 4 5 °、及び 9 0 °) を規定する。該規則は、4 つ未満の隣接する層が同じ繊維配向を有し得ることを決定する。該規則は、各ブロックが各配向の少なくとも 1 つの層を含むことを要求する、などである。最適化環境内におけるこれらの規則の組織的な評価は、プライが所与の層内のパネルから選択的に省略され得るという事実によって複雑にされる。

【 0 0 2 3 】

ステップ 5 0 6 では、コントローラ 1 1 2 が、規則に従うガイド (すなわち、ブロックのための繊維配向の配置) を生成する。ガイドは、ブロックの各層のための繊維配向を規定する。ガイドは、上述の積み重ねシーケンス規則を参照することによって生成され得る。

【 0 0 2 4 】

ステップ 5 0 8 では、適合した「サブミネート」が、生成されたガイドに対して特定される。サブミネートは、ブロックのための一組の連続的なプライシーケンスであり、パネル毎に割り当てられ得る。適合したサブミネートは、ブロックのためのガイド内の複数の層のサブセットである。ガイド内で示された複数の層は、サブミネートから省略され得るが、ガイド内で示されたシーケンスは、サブミネートが適合するように維持されなければならない。サブミネートは、それらが、個別に積み重ねシーケンス規則に適合することを保証するようにも選ばれる。更に、一組のサブミネートは、サブミネートの任意の組み合わせが、厚さを通して、積み重ねシーケンス規則にも従うことを保証するように更に低減され得る。ガイド及び適合したサブミネートは、コントローラ 1 1 2 によって予め計算され、規則に従うことを保証するように、それによって、部品 1 5 0 が望ましい強度を有することを保証するようにフィルタリングされ得る。

【 0 0 2 5 】

しかし、これらのサブミネートのうちの何れかが、部品 1 5 0 のための望ましい強度を提供するように選ばれ得る一方で、どのサブミネートが製造可能性を改良するかを判定することは問題のままである。この目的に対して、ステップ 5 1 0 において、コントローラ 1 1 2 は、各々が部品 1 5 0 の領域の断片を備える、複数のパネルへ部品を更に分割する。

【 0 0 2 6 】

ステップ 5 1 2 において、コントローラ 1 1 2 は、隣接するパネルに対して適合したサブミネートに基づいて、各ブロック内の各パネルに対して適合した 1 つのサブミネートを更に選択する。例えば、コントローラ 1 1 2 は、プライシーケンス内の A F P 機によって横たえられた連続的なプライの数を増加させる目的で、パネルに対して適合した 1 つのサブミネートを選択し得る。したがって、この技法は、ブロックの層に対してプライシーケンスをレイアップする間に、A F P 機によって使われる時間の量を低減させ得る。

【 0 0 2 7 】

一旦、適合したサブミネートが、各ブロック内の各パネルに対して選ばれると、設計が完了する。したがって、コントローラ 1 1 2 は、部品 1 5 0 を製造するとき A F P 機 1 4 0 によって使用されるための設計を記憶するようにメモリ 1 1 6 を構成し得る。

【 0 0 2 8 】

上述の方法 5 0 0 を利用して、各ブロックのための製造 / レイアップの速度を上げるために、個別の層のためのプライ形状及び / 又はシーケンスが、選ばれ得る。今度は、これは、複雑な部品が、製造のそれらの全体の費用及び / 又は時間を削減する設計を利用することを保証する。本明細書で使用される最適化技法の更なる詳細は、以下の実施例セクションに関連して説明される。

【 0 0 2 9 】

10

20

30

40

50

実施例

以下の実施例では、複合部品のためのレイアップ時間を削減する、複合設計システム 110 に照らして、更なるプロセス、システム、及び方法が説明される。システム 110 は、積み重ねシーケンス規則が満たされることも保証する一方で、プライシーケンスを最適化する。

【0030】

多くの AFP プロセスに対して、時間のほとんどの量は、繊維のプライをレイアップすることに費やされる（これは、「インサイクル時間」と呼ばれる）。しかし、残りの時間は、機械のダウンタイム（例えば、機械を洗浄する、カッターを交換する、壊れたトウを修理するなど）、各層の検査、及び既にレイアップされた繊維の再作業から成る。したがって、AFP 機 140 のためのインサイクル及び / 又はアウトオブサイクル時間を削減する設計は、複合部品のための製造の全体の速度を高める。以下の例示的な最適化メトリックは、複合部品の層のためのプライシーケンスが、層、ブロック、又は全体の複合部品の製造速度を増加させるようなやり方で選ばれることを保証するために、（単独で又は組み合わせで）使用され得るメトリックの例である。以下で提供される例示的なメトリックは例示的であり、異なるメトリックが動作環境で望まれるように利用され得る。

【0031】

図 6 ~ 図 9 は、（例えば、AFP 機を介して）複合部品をレイアップする全体の速度を削減するプライ形状が選ばれることを保証するために使用される例示的な最適化メトリックを示している。以下の説明では、「コース (course)」という用語が、表面上の望ましい繊維配向に従う特定の湾曲に沿って、AFP 機又は自動テープ横たえ機により横たえられた材料の帯を指す。材料の帯は、材料の 1 以上のストリップから成り得る。これらのストリップは、個別に分配され切断され得る。プライは、プライ境界内の領域を満たす 1 以上のコースを順番に横たえることによって形成される。その方向に応じて、AFP ヘッドは、プライ境界において開始し又は停止するようにストリップを動かす。ストリップを開始することは、「追加 (add)」呼ばれ、一方、ストリップを停止することは、「切断 (cut)」と呼ばれる。コースがプライ境界と平行ならば、プライ境界の部分は、コースの最も外側のストリップの外側端部によって形成され得る。

【0032】

最適化メトリック 1 全体境界

図 6 は、複合部品の 4 つのパネル長さ、3 つのパネル幅の層に対する 2 つの異なるプライシーケンス (610、620) を示している。各パネルは、正方形であり、その辺は X の長さを有する。図 6 で示されているように、影が付けられたパネル 611 はプライで満たされ、影が付けられていないパネル 612 はプライで満たされていない。プライで満たされたパネルは、連続していないので、プライシーケンス 610 の全体境界長さは、（パネル毎に 4 つの側部）*（6 つのパネル）= 24X に等しい。対照的に、プライシーケンス 620 の全体境界長さは、10X に等しい。ある AFP 機は、プライを切断するときに遅くなり、プライ形状及び / 又はシーケンスの全体境界長さは、AFP 機によって行われた切断の数と強く相互に関係するので、プライ形状に基づいて層を最適化することは、製造速度を高める。したがって、プライシーケンス 620 を製造する時間は、プライ形状 610 よりも短い。何故ならば、少なくとも、プライシーケンス 610 は、より多くの切断と追加を示し、より多くの AFP 機のダウンタイムをもたらす傾向があるからである。更に、プライ形状 610 は、より多くの切断を示すので、プライシーケンスを検査するオペレータによってより多くの時間が費やされ、（より多くの全体の端部長さが存在するので）端部は、再作業を必要とする可能性がより高いだろう。

【0033】

更に、より短い全体境界を有するプライ形状は、長いコースを使用する可能性がより高い。より短いコースの代わりにより長いコースを使用することは、機械が、1 つのコースから次のコースへ空中を移動する際に、AFP 機におけるより少ない遊休時間を保証する。より長いコースは、より速いテープ横たえももたらす。何故ならば、AFP 機は、最大

10

20

30

40

50

速度に至るまで時間がかかるので、コースを横たえている間にその最大速度に到達することができるからである。したがって、プライシーケンスの全体境界の長さは、プライシーケンスの製造効率を表す優れたインジケータである。

【 0 0 3 4 】

最適化メトリック 2 切断境界

図 7 は、複合部品の 4 つのパネル長さ、3 つのパネル幅の層に対する 2 つの異なるプライシーケンス (7 1 0、7 2 0) を示している。各パネルは、正方形であり、その辺は X の長さを有する。図 7 で示されているように、影が付けられたパネル 7 1 0 はプライで満たされ、影が付けられていないパネル 7 1 2 はプライで満たされていない。図 7 は、この層のためにプライを横たえるときに、A F P 機が方向付けられるところの方向 (D) を更に示している。更に、この実施形態では、各コースが正確に 1 つのパネルの幅である。プライシーケンス 7 1 0 を生成するために 3 つのコースが使用される一方で、A F P 機のただ 1 つのコースが、プライシーケンス 7 2 0 を生成するために使用される。したがって、プライシーケンス 7 1 0 は、A F P 機が、プライシーケンス 7 2 0 よりも 2 倍以上多くの時間をかけて、切断、停止、及び再位置決めすることを要求し得る。切断及びコースの増加された数は、そのプライシーケンスのための全体の検査及び再作業時間を増加させるのみならず、プライシーケンスをレイアップするときに、機械の誤作動の可能性も増加させる。検査は、概して、個別のコースの間のみならず、複合部品上での各切断及び追加の位置において生じる。したがって、プライシーケンスを生成するためにより少ないコースを使用することは、複合部品の製造速度を増加させる。本明細書で使用される際に、コースが切断又は追加される任意の境界は、「切断境界」と呼ばれる。

【 0 0 3 5 】

最適化メトリック 3 内部コーナー

図 8 は、各々が、複合部品の層に対してレイアップされたプライ 8 1 3 を備える、2 つの異なるプライシーケンス (8 1 0、8 2 0) を示している。図 8 で示されているように、影が付けられたパネル 8 1 2 はプライで満たされ、影が付けられていないパネル 8 1 1 はプライで満たされていない。図 8 は、A F P 機の方向 D のおかげで、パネルの間隙をブリッジするために、プライシーケンス 8 1 0 に対して、余剰な切断 8 1 5 が行われなければならないことを更に示している。対照的に、プライシーケンス 8 2 0 では、A F P 機の方向 (D) が、A F P 機を停止及び再開することを必要とすることなしに、コースが単一のコース内でレイアップされることを可能にする。本明細書で使用される際に、(例えば、複数の同一線上のコースを単一のコース内に横たえるために) A F P 機が、停止し、切断し、その後、再開することを必要とする、プライ内のコーナーは、内部コーナーと呼ばれる。層の繊維配向が、その層のためのプライシーケンスの境界と位置合わせされないならば、内部コーナーが生じる。内部コーナーの数を低減させるようにプライシーケンスを最適化することは、単一のランノパスの間 A F P 機の停止及び再開の数を削減する。例えば、内部コーナーは、レイアップされる層内の繊維の既知の配向に基づいて特定され得る。

【 0 0 3 6 】

最適化メトリック 4 コースの数

図 9 は、複合部品の 4 つのパネル長さ、3 つのパネル幅の層に対する 2 つの異なるプライシーケンス (9 1 0、9 2 0) を示している。各パネルは、正方形であり、その辺は X の長さを有する。図 9 で示されているように、影が付けられたパネル 9 1 1 はプライで満たされ、影が付けられていないパネル 9 1 2 はプライで満たされていない。図 9 は、プライを横たえるときに、A F P 機が方向付けられるところの方向 (D) を更に示している。例えば、これは、A F P 機によってレイアップされるプライのために使用される繊維配向と同じ方向であり得る。図 9 は、同じサイズの境界と、プライシーケンス内の満たされたパネルの同じ数とが存在するときでさえ、そのプライシーケンスをレイアップする速度が、選ばれたプライ形状及び相対位置に応じて変動し得ることを示している。この実施例では、プライシーケンス 9 2 0 が、より高い製造効率を有する。何故ならば、プライシーケ

ンス 9 1 0 が 4 つのコースを使用する一方で、プライシーケンス 9 2 0 は 3 つの—パネル幅のコースしか使用しないからである。より少ないコースを有する複数のプライをレイアップすることは、AFP 機におけるオフパートモーション (o f f p a r t m o t i o n) を低減させもし、それは、製造速度を増加させる。

【 0 0 3 7 】

最適化メトリック 5 平均コース長さ

AFP 機は、コースが短すぎるならば、その最大レイアップ速度に到達しない。これは、より短いコースがより長いレイアップ時間をもたらすことを意味する。したがって、例えば、プライ形状を最適化するとき、(プライ形状内のコースの数で割ったプライシーケンスの面積として規定される) 平均コース長さを計算することが望ましいだろう。全体の部品に対する平均コース長さは、全てのプライシーケンスのための全体の面積をコースの全体の数で割ることによって計算され得る。

10

【 0 0 3 8 】

例示的な積み重ねシーケンス規則

積み重ねシーケンス規則は、如何にしてプライシーケンスが層のために設計されるかを制約し得る。以下の表 1 は、複合部品を設計するとき利用され得る例示的な一組の積み重ねシーケンス規則を示している。

表 1—積み重ねシーケンス規則

規則	説明
A	複合部品の層にわたりバランスと対称性を採用する
B	同じ繊維配向を有する隣接する層の閾値数より多く積み重ねるな
C	複合部品内で各繊維配向の少なくとも 1 つの層を使用する
D	+45° と -45° の対において 45° の層を追加する
E	異なるプライの間の繊維配向角度における差異を最小化する

20

【 0 0 3 9 】

この実施例では、ある規則が、コントローラ 1 1 2 の判断のために必須であると合図され得る (例えば、如何なる違反も許容されない) 。一方、他の規則は、特定の状況下で違反され得るガイドラインとして合図され得る (例えば、複合部品の中央平面により近い位置において) 。この実施例では、規則が、0°、90°、及び ± 45° のプライから成るラミネートに特有のものである。他の規則は、異なる繊維配向を有するプライを含むラミネートに適用され得る。提示されている方法は、4 つの繊維配向に限定されない。

30

【 0 0 4 0 】

複合部品のガイド

複合部品を設計するとき、各層 / プライシーケンスに対して使用される繊維配向を示すために、ガイドが構築され得る。その後、コントローラ 1 1 2 は、層毎に且つパネル毎に、ガイドに基づいて設計内にプライを含むことを選択的に決め得る。実際、部品のために選ばれる設計は、ガイドによって規定された所与の層に対してプライが横たえられない (部品設計の平板表現内の) 間隙を含み得る。しかし、AFP 機によってプライが複合部品の上に付けられるときに、設計内の間隙によって分離されたプライは、互いの上に直接的に横たえられる。これは、複合部品上にレイアップされたときに、所与の層のために横たえられたプライが、必ずしも同一平面上にないということを意味する。すなわち、図 1 0 で示されるように、ガイド 1 0 1 0 が使用されて、パネル S 1 ~ S 1 2 を備えた複合部品のための設計 1 0 2 0 が生成されるときに、設計 1 0 2 0 は、その層内に 1 以上の空部分 1 0 2 2 を含む。製品のための実際のレイアップ生産物 1 0 3 0 は圧密され、それによって、設計 1 0 2 0 内の空パネルによって、その厚さにわたって分離されたプライシーケ

40

50

ンスは、生産物 1 0 3 0 内で互いに隣接して配置される。生産物 1 0 3 0 の中央平面は、図 1 0 においてパネル毎に点線で示されている。

【 0 0 4 1 】

サブラミネート

サブラミネートは、対応するブロックのためのガイド（すなわち、複合部品の各層に対する繊維配向を決定するテンプレート）に基づいて選ばれ得る。すなわち、ブロックのためのガイドが、各々が予め規定された繊維配向を有する 8 つのプライシーケンスを含むならば、サブラミネートは、それらの繊維配向の注文されたサブセットのための 8 つまでのプライシーケンスを含む。ガイドが使用される実施形態では、ガイドからの全てのプライシーケンスが、パネルサブラミネート内に存在する必要はない。しかし、サブラミネート内の全てのプライは、少なくとも、ブロックのためのガイド内に且つフィットするための正しい順序で存在するべきである。この実施例では、2 つのサブラミネートが、そのブロックのためのガイドに違反することなしに、ブロック内で両方とも使用され得るならば、それらは適合している。この概念を示すために、図 1 1 のダイヤグラム 1 1 0 0 は、サブラミネート 1 ~ 5（サブ 1 ~ 5）が、ブロックのための同じガイド内に配置されることができることを示している。列内の空のセルは、その層に対するそのパネルのために何らの材料も配置されないことを示している。例えば、サブラミネート「サブ 1」は、[4 5 / 9 0 / - 4 5 / 4 5 / 9 0 / - 4 5 / 0] と書かれ、一方、サブラミネート「サブ 2」は、[4 5 / 9 0 / 0 / - 4 5 / 0] と書かれ得る。「サブ 1」は、「サブ 2」に適合する。何故ならば、「サブ 1」は、ガイドブロックラミネート、すなわち、[4 5 / 9 0 / - 4 5 / 0 / 4 5 / 9 0 / - 4 5 / 0] から層 4 が省略されることによって生成され、一方、「サブ 2」は、層 3、5、及び 6 を省略することによって生成され得る。サブラミネートは、ブロックの層に対して必要とされる繊維配向に違反することなしに、そのブロックの中へ両方とも挿入されることができないならば、それらが、適合していないということになる。例えば、繊維配向 [4 5 / 0 / 0 / 4 5] を有するサブラミネートは、図 1 1 内で描かれているガイドに適合しないだろう。何故ならば、層 1 と層 5 の間には 1 つの 0 ° の層しか存在せず、層 8 以降には 4 5 ° の層が存在しないからである。

【 0 0 4 2 】

最適化モデル

コントローラ 1 1 2 によって使用される最適化モデルには、図 1 2 で示されるように 3 つのステップが含まれる。第 1 のステップは、ステップ 1 2 0 2 で、サブラミネートを生成することを含む。したがって、各ブロックに適合するプライシーケンスが、判定されるべきである。一旦、適合したサブラミネートのライブラリが生成されたならば、ガイドが、ステップ 1 2 0 4 で、ブロックのために生成され得る。ブロックのためのガイドを使用して、ステップ 1 2 0 6 で、プライシーケンスが最適化され得る。

【 0 0 4 3 】

サブラミネートを生成する目的は、予め処理するステップで、実行可能な積み重ねシーケンスを有するサブラミネートのライブラリを生成すること、及び最適化が実行される前に設計空間の実行不可能な領域を排除することである。このステップは、最適化の間に検査されるソリューション空間のサイズを収縮する助けとなる。この概念を示すために、4 つの繊維配向がサブラミネート内の 1 0 個の層の各々に対して許容されるならば、各層が 1 つのプライを含むとして、 4^{10} （すなわち、1, 0 4 8, 5 7 6）の可能な積み重ねシーケンスが存在する。空のパネルが層内で許容されるならば、選択肢の数は、 5^{10} （すなわち、9, 7 6 5, 6 2 5）まで増加する。したがって、最適化プロセスが適切な量の時間で収束することを保証するために、先験的に、潜在的なサブラミネートの数を低減させることが有益なままである。表 2 は、このやり方で生成された 1 0 個の層のサブラミネートのための例示的な基準を示している。これらの基準は、部品のための先に計算された繊維配向の分布に基づいて、開発され得る。これらの基準は、部品のために予測された全体の繊維配向の分布に基づいても変化し得る。パネルからパネルへ分布が徹底的に変化するならば、サブラミネートの複数のライブラリ（例えば、各々が異なる特性を有するパ

ネルを担う異なるライブラリ)が使用され得る。

表2: サブラミネートのための例示的な基準

- ・各サブラミネートは、少なくとも4つ且つ最大で10個のプライシーケンスを含む
- ・各サブラミネートは、常に、 0° の繊維配向のプライシーケンスで開始し且つ終了する
- ・サブラミネート内で 90° の繊維配向を有するプライシーケンスの数は、2つ未満である
- ・ 0° の繊維配向を有するプライシーケンスの数は、4つ未満である
- ・ 45° の繊維配向を有するプライシーケンスの数と -45° の繊維配向を有するプライシーケンスの数は同じであり、且つ、 45° の繊維配向は -45° の繊維配向と交互になる
- ・ 45° 又は -45° の繊維配向の何れかは、 0° の繊維配向を有する第1のプライシーケンスの後で、且つ、 0° の繊維配向を有する最後のプライシーケンスの前に、配置されるプライシーケンスのために使用される
- ・同じ繊維配向は、5つ以上の連続的なプライシーケンスにおいて使用されない
- ・同じ繊維配向が連続的なプライシーケンスにおいて2回又は3回繰り返されるならば、それらのプライシーケンスの前に且つ後に来るプライシーケンスは、連続的なプライシーケンスに対して垂直であることが許容されない

10

20

【0044】

上述の技法を使用して、異なるサブラミネートが複合部品内で互いの上に積み重ねられるときでさえ、積み重ねシーケンス規則が遵守され得る。

【0045】

ブロック及びガイドの生成

積み重ねシーケンス規則は、理想的には各ブロックよりも各パネル内で満たされるべきであるが、積み重ねシーケンス規則を満たすガイドを生成することは、個別のパネル内での積み重ねシーケンス規則の違反の数を削減する。ある場合では、複合部品内の全てのパネルのための全ての積み重ねシーケンス規則を満たすことも不可能であり得る。概して、積み重ねシーケンス規則の違反が必要とされるならば、それは、複合部品の中央平面の近くで許容される。ラミネートの中央平面に最も近い内側ブロックと、ラミネート表面に最も近い外側ブロックとの間を区別することが望ましいままである。この実施例では、外側ブロックが、要約を含む、積み重ねシーケンス規則を満たすことを必要とされ、一方、積み重ねシーケンス規則は、内側ブロック内で違反されることが許容される。しかし、内側ブロック内の違反するプライシーケンスを使用する設計は、最適化の間の目的関数に対するペナルティを介して抑制される。

30

【0046】

設計は、ブロックの数を選択する入力に基づいて、又は各ブロック内に含む層の数を示す入力に基づいて、コントローラ112によってブロックへ更に分割され得る。各ブロックのサイズは、以前のステップにおけるサブラミネートのために選ばれ得るプライシーケンスの最大数と同じである。この実施例に対して、各ブロックは10個の層を規定する。余剰のブロックを有することは、最適化の能力を改良するが、製造のために使用されるプライシーケンスの数を不必要に増加させもし、それは、全体の製造速度を低減させる。この実施例では、規定による全てのパネルが、部品の少なくとも最も外側のブロックを使用し、したがって、これらのブロックは、最適化プロセスの部分ではない。この実施例において、コントローラは、どのブロックが規則違反が許容される内側のブロックであると考えられるかを更に判定する。内側ブロックの数が少なすぎるならば、実行可能な解決策を見つけることが不可能であり得る。内側ブロックの数が多すぎるならば、解決策は、積み重ねシーケンス違反の不必要な数を含み得る。この実施例では、内側ブロックの数が、偶数であり、等しく中央平面の周りに分配される。中央平面から等しい距離のブロックの間

40

50

の対称性を強要することは、規則が満たされ、ソリューション空間がより小さくなることを保証する助けとなる。ガイド生成ステップにおいて、コントローラ 112 は、たとえ、内側ブロック内の非対称性が、設計が選ばれるときに後で許容されるとしても、内側ブロックが部品の中央平面の周りで対称であると更に想定し得る。設計のための対称なガイドは、パネル積み重ねシーケンスの対称性を改良する。

【0047】

この実施例では、二分決定変数 Y_{bs} が規定され、それは、サブミネート s がブロック b に割り当てられるときに 1 であり、それ以外では 0 である。サブミネート s は、プライシーケンスの選ばれた数を有する以前のステップにおいて生成された任意のサブミネートであり得る。上述されたように、ブロック b は、対称性による問題において規定されたブロックの半分にしか及ばない。整数最適化が使用されて、以下の数式を介してガイド設計が判定され得る。

$$\text{最小化する} \quad \sum_i \varepsilon_{bs} Y_{bs} \quad (1)$$

$$\text{ここで} \quad \sum_s Y_{bs} = 1 \quad \forall b \quad (2)$$

$$\sum_s n_{sk} Y_{bs} \geq \max_i(n_{ik}) \quad \forall k \quad (3)$$

【0048】

目的関数 (1) は、各 (b 、 s) の組み合わせに割り当てられた全値を最少化する。
 Y_{bs} は、ガイド生成について制御された置換を可能にするために導入された小さいランダムノイズであり、それによって、目的関数が実行可能な解決策を見つけ、その目的関数が、 Y_{bs} に対する乱数シードを変化させることによって制御され得る。置換 Y_{bs} は、プライ最適化ステップからの解決策にも基づき、ランダムな置換を使用することよりもガイドを変化させることによって解決策を改良し得る。遺伝的アルゴリズムなどの、更なる及び/又は代替的なアルゴリズムが、望まれるように利用され得る。

【0049】

制約 (2) は、各ブロックが唯 1 つの割り当てられたサブミネートを有することを保証する。制約 (3) は、ガイドに基づくプライ形状の最適化が、解決策において所与の方向を有するプライシーケンスの数が、各パネルに対して必要とされる最大数よりも大きいことを確実にすることによって、各繊維配向のための実行可能なプライの数を有することを保証する。この方程式では、 n_{sk} が、サブミネート s 内の繊維配向 k を有するプライシーケンスの数を表し、 n_{ik} が、パネル i 内の繊維配向 k を有するプライの数を表している。

【0050】

複合部品に対して規定されたブロック及びガイドを用いて、コントローラ 112 は、製造を促進するために、複合部品のためのプライシーケンスの最適化を進め得る。

【0051】

プライ形状の最適化

図 13 は、例示的な一実施形態における、6 つの隣接するパネル (A、 B、 C、 D、 E、 F) の一組 1300 を示している。図 14 は、例示的な一実施形態における、6 つの隣接するパネルを備えた複合部品のブロック (B) のための例示的な設計を示している。この設計は、層 1402、1404、1406、1408、及び 1410 を含む。各層に対して、コントローラ 112 は、どのパネルが繊維のプライを用いてレイアップされるかを判定する。図 15 は、図 14 の設計に基づく、図 13 の複合部品の多層の各々に対するプライシーケンス (1502、1504、1506、1508、1510) を示す。例えば、プライ形状 1502 は、図 14 の層 1402 に対応し、プライ形状 1504 は、図 14 の層 1504 に対応するなどである。

【0052】

コントローラ 112 によって使用されるプライ形状の最適化プロセスは、結果としての

10

20

30

40

50

プライシーケンスが製造可能性を最適化することを保証する。この実施例では、製造可能性が、全体プライ境界メトリックを使用して測定される。この実施例では、最適化の間に、内側ブロックのための設計が、パネルの個別の層に対して選ばれる。対照的に、外側ブロックに対して、設計は、各ブロックのためのガイドに適合した以前のステップ内で生成された実行可能なサブミネートのライブラリからサブミネートを選択することによって選ばれる。

【0053】

最適化を促進するために、二分決定行列が使用されて、所定の層内のパネルの上に、プライをレイアップするか否かを示す。行列では、この判定が二分決定変数 X_{ijk} によって示される。この変数は、パネル内のプライ i がプライシーケンス j 内に存在するならば、1である。プライシーケンス j は、方向指標 k によって表される繊維配向を有する。指標 i は、問題の全てのパネルに対して規定され、指標 j 及び k は、(ブロックとは反対に)全ての個別のプライシーケンスに対して規定され、目的関数が、全体のラミネートのために計算され、最適化で使用されるブロックに対してのみ使用されるわけではないことを保証する。方向指標 k は、5つの値を有し得る。すなわち、4つの繊維配向の各々のために1つずつ、及び繊維がレイアップされないときの5番目の値である。指標 k は、追跡目的のみで X_{ij} を伴ってリストされる。何故ならば、シーケンス j のための繊維配向は、設計によって規定されるからである。設計のためのガイドは、二分変数 Y_{jk} によって表される。それは、ガイド生成ステップにおいて判定される。 Y_{jk} は、プライシーケンス j がガイド内に繊維配向の指標 k を有しているならば、1であり、それ以外では、0である。最適化の間に、内側ブロックのための決定変数 X_{ijk} は、直接的に変化するが、外側ブロックに対しては、 X_{ijk} が、どのサブミネートが採用されるかによって判定される。サブミネートの選択は、二分決定値 Z_{ibs} によって規定され、 Z_{ibs} は、ブロック b 内のパネル i にサブミネート s が割り当てられるならば、1である。サブミネート s が、実行可能であり、ブロック b のためのガイドに適合する、サブミネートのライブラリからのみ採用され得ることに留意されたい。プライ境界長さの計算に対して、一組のネイバー $\{(i, i') \mid i \text{ と } i' \text{ は物理的に隣接している}\}$ が規定される。それは、物理的に隣接しているパネルの対 (pair) を表す。本明細書で説明される Y 変数の値は、このポイントでは時間内に最適化されない。何故ならば、 Y 値は、ガイドが以前のステップにおいて判定されたときに割り当てられたからである。

【0054】

以下の数式は、このポイントにおいて時間内に設計を最適化するために使用され得る。4つの繊維配向 (0° 、 45° 、 -45° 、 90°) が許容される。

$$\text{最大化する} \quad \sum_{(i,i') \in N, j, k \in TL} w_{i,i'} * X_{ijk} * X_{i'jk} - \sum_{j \in \text{inner blocks}} p * X_{ijk} \quad (4)$$

ここで

$$\sum_{j \in \text{InnerBlocks}} X_{ijk} + \sum_{j \in \text{InnerBlock}} 2 * X_{ijk} = n_{ik} \quad (5)$$

$$\forall i, k \in [0, 45, -45, 90]$$

$$\sum_s Z_{ibs} \leq 1 \quad \forall i, b \in \text{OuterBlocks} \quad (6)$$

$$\sum_i X_{ijk} \leq M * Y_{jk} \quad \forall j, k \in [0, 45, -45, 90] \quad (7)$$

$$X_{ijk} = \sum_s \alpha_{sk} Z_{i,b|j \in b, s} \quad \forall i, j \in \text{OuterBlocks}, k \quad (8)$$

$$Y_j + \sum_{ik \in [0, 45, -45, 90]} X_{ijk} \leq 0 \quad \forall j, k \in [0, 45, -45, 90] \quad (9a)$$

$$M * Y_j + \sum_{ik \in [0, 45, -45, 90]} X_{ijk} \geq 0 \quad (9b)$$

10

20

30

40

プライシーケンスが45°のフルプライであり、その後、90°、-45°、及び0°のフルプライが追従するように、X値を強制する。実際、制約(5)は、一定の最も外側のブロックと等しいかもしれない。したがって、これは、積み重ねシーケンス規則が規定によって満たされることを保証し得る。

【0060】

制約(12)は、中央平面内に2つのプライシーケンスを認める。この実施例では、コントローラが、プライシーケンスの全体の数が、偶数であると想定し、それは、中央平面内の2つのプライシーケンスを保証する。制約(12a)は、自由端がテーピングされないことを保証する。制約(6b)は、パネルが複合部品の自由端にないならば、0°のプライの数を偶数とすれば、2つの0°のプライが、ラミネート中央平面において存在することを保証する。制約(12c)は、0°のプライの数が奇数ならば、ただ1つの0°のプライが、中央平面において存在することを保証する。

10

【0061】

内側ブロック内の各プライが互いから独立して最適化されることを可能にする代わりに、内側ブロックが、ライブラリを使用しても最適化され得る。2以上のプライの方向が奇数のプライを有し、したがって、内側ブロックのためのサブラミネートが、対称性の違反に基づいてフィルタリングされ得ないならば、対称性は不可能であり得る。代わりに、対称性に違反するサブラミネートは、それらが使用されるならば、目的関数に追加され得る対称性の違反の程度に基づいて、ペナルティーが割り当てられ得る。

【0062】

最大限に許容されるソリューション時間、ガイド内の全体のプライシーケンスの数、及び内側ブロック内のプライシーケンスの数などの、ユーザ入力もコントローラに提供され得る。製造可能性は、最適化のためにより多くの時間が許容されると、改良される。全体境界は、ソリューション時間が増加すると減少する。それが予測されるのは、これがプライ形状最適化のための目的関数の主要な部分だからである。

20

【0063】

パラメータ実行可能性分析

複合設計システム110は、最適化を実行する前に(例えば、複合部品の特定のパネルにおける特定のサブラミネートの配置を決定する解決策の検索及びスコアリングの前に)、実行可能性分析を更に実施し得る。これは、最適化が、実行不可能な最適化の問題をもたらすパラメータの組に対して実行されることを妨げることによって、時間及びライセンス費用を節約する。一実施形態では、複合設計システム110が、サブラミネートの適合した組み合わせが複合部品の全てのパネルに対して存在しないときは何時でも、最適化を行わない。システム110は、実行可能な解決策が可能であることを保証するように、如何にして制約が変更され得るかを示すフィードバックを更に提供し得る。例えば、フィードバックは、規則に従わないサブラミネートが存在するところの、特定のパネルを示し得るか、又は実行可能な解決策をもたらす可能性が高い変更を示し得る。

30

【0064】

問題を更に示すために、ユーザが、各パネルに対して複合設計システム110にプライカウントを入力するときに、全てのプライカウントに従う実行可能な解決策が存在しない可能性が残っている。この問題は、サブラミネートを生成するために使用される積み重ねシーケンス規則に応じて妥協され得る。何故ならば、積み重ねシーケンス規則の第1の組の下で生成されたサブラミネートの1つのライブラリに対して解決策が存在し得る際に、未だ、積み重ねシーケンス規則の第2の組の下で生成されたサブラミネートの異なるライブラリに対して解決策が存在しないからである。コントローラ112によって実行された実行可能性分析は、パネルのためのプライカウントが、サブラミネートに対して積み重ねシーケンス規則と対立しない、少なくとも1つの解決策が存在することを保証する助けとなる。

40

【0065】

この実施形態では、最適化に携わる前に、コントローラ112が、解決策が見つかり得

50

ることを保証するために、サブミネートのための積み重ねシーケンス規則と組み合わせられた各パネルに対して、プライカウントをレビューする。したがって、何時間もの時間及び/又は高価なソフトウェアライセンスを利用して、機械的に最適化プロセス全体に携わるかわりに、コントローラ 112 は、実行可能性分析の結果に応じて、最適化を実行するか否かを選択的に判定する。

【0066】

上述のように、ライブラリ内のサブミネートは、積み重ねシーケンス規則に従うように選ばれ得る。プライ形状及び積み重ねシーケンスを、積み重ねシーケンス規則に従う既知のサブミネートのみから生成することによって、これらのサブミネートから構築された解決策は、不適合の機会を低減させることが企図される。積み重ねシーケンス規則との適合性を保証する上述の方策に関わらず、サブミネートは、複合部品のパネルに対するプライカウントと常に適合するわけではないだろう。すなわち、生成されたサブミネートは、パネルに対する望ましい/予め規定されたプライカウントに従わないかもしれない。例えば、積み重ねシーケンス規則が、地球レベルで可能なプライの方向の組み合わせを示し得る一方で、これらの可能な組み合わせに対する方向毎のプライの数は、個別のパネルに対して特定された方向毎のプライの数に合致しないかもしれない。これは、積み重ねシーケンス規則に個別に従うサブミネートが、パネルからパネルへと変動し得る、必要とされるプライカウントに従うサブミネートの中へ、常に組み合わせることができるわけではないことを意味する。これらの問題は、手動で突き止めることが特に難しいだろう。そのようにして、複合部品の 2、3 のパネル内だけで対立が存在し得る。積み重ねシーケンス規則が、パネルのためのプライカウントに照らして実行不可能であるならば、ユーザは、許容されるブロックの数（すなわち、各パネルを満たすことが許容されるサブミネートの数）を変更するか、積み重ねシーケンス規則を変更するか、及び/又はサブミネートのサイズを変更するかのうちの何れかを行わなければならない。それらの後で、実行可能性の確認が再試行される。

【0067】

実行可能性分析を実行する間のコントローラ 112 の動作の更なる説明が、図 16 に関連して提供される。この実施形態に対して、ユーザは、一組の積み重ねシーケンス規則及びプライカウントを提供し、提供された規則に基づいて複数のパネルの複合部品のために最適化が実行されることをリクエストしたものと想定する。例えば、ユーザは、特に、ユーザインターフェースを介して実行可能性分析をリクエストし、又は最適化が実行されることをリクエストし得る。その場合に、コントローラ 112 は、最適化を行うか否かを判定するために、「プリフライト (preflight)」の実行可能性分析に携わり得る。

【0068】

コントローラ 112 は、(例えば、ユーザによる入力として)サブミネートのための積み重ねシーケンス規則を特定する。サブミネートは、連続的に積み重ねられた層を備え、それらが共に積み重ねられてパネルを満たすように、最適化の間に利用される。積み重ねシーケンス規則は、サブミネートの組成を制約する。例えば、積み重ねシーケンス規則は、サブミネート内で許容可能なプライシーケンスを規定し、繊維配向毎にサブミネートのためのプライの最少数及び最大数を規定し、同じ繊維配向を有する連続的なプライの許容可能な数を規定し得るなどである。

【0069】

実行可能性分析に携わるときに、コントローラ 112 は、複合部品の全体の複合形状 (例えば、各パネル) にわたり検査する。したがって、コントローラ 112 は、複合部品の全てのパネルが適合性をチェックされたわけではないことを判定し (ステップ 1604)、実行可能性分析のための複合部品のパネルを特定する (ステップ 1606)。コントローラ 112 は、進んで、パネルのためのプライカウントを特定する。プライカウントは、パネルにおけるプライの数を制約し、例えば、様々な制約の値を示す一桁の数字 (single numbers) を含む (ステップ 1608)。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 0 】

コントローラ 1 1 2 は、更に、最適化ルーチン内で使用されることが許容されたサブラミネート (N_S) の数を更に選択する (ステップ 1 6 1 0)。例えば、 $N_S = 2$ であるならば、2 つまでの個別のサブラミネートが各パネルで使用されて、プライを用いてパネルを「満たし」得る。次に、コントローラ 1 1 2 は、 N_S 及び積み重ねシーケンス規則に基づいて、結果としてのラミネートのためのプライカウントの範囲を計算する (ステップ 1 6 1 2)。

【 0 0 7 1 】

コントローラ 1 1 2 は、パネルに対するプライカウントが、ラミネートのためのプライカウントの範囲に従うか否かを更に判定する (ステップ 1 6 1 4)。これは、仮定で解決策が複合部品に対して見つかり得るところの、積み重ねシーケンス規則及び/又は N_S の値を判定するために実行される。そのような分析は、実行不可能な積み重ねシーケンス規則及びサブラミネートの数が最適化の間に考慮されることを避ける助けとなる。

【 0 0 7 2 】

全てのパネルが、少なくとも1つの N_S $N_S^{\circ P t}$ を有するところのサブラミネートの数、 $N_S^{\circ P t}$ が、以下の全ての制約が満たされるとして、判定され得るならば、実行可能性の問題が存在し得る。したがって、全てのパネル、1 に対して、コントローラ 1 1 2 は、 N_S が特定のプライカウント、 N_{ik} を満たすことができるか否かを判定する。コントローラ 1 1 2 は、各繊維配向、 k に対して、プライカウントをチェックする。

$$N_k^s + N_k^{\min} \cdot N_S \leq N_{ik} \leq N_k^s + N_k^{\max} \cdot N_S \quad (13)$$

ここで、 N_k^{\min} と N_k^{\max} は、単一のサブラミネート内で許容される、方向 k に対するプライの最少数と最大数であり、 N_k^s は、全ラミネート内の方向 k を有する (一定の) 表面のプライの全体の数である。

【 0 0 7 3 】

より精密な判定のために、上述の方程式は、内側サブラミネートと外側サブラミネートとの間を区別するように作られ得る。

$$\begin{aligned} N_k^s + N_k^{\min_inner} \cdot N_{S_inner} + 2 * (N_k^{\min_outer} \cdot N_{S_outer}) &\leq N_{ik} \\ &\leq N_k^s + N_k^{\max_inner} \cdot N_{S_inner} + 2 * (N_k^{\max_outer} \cdot N_{S_outer}) \end{aligned} \quad (14)$$

ここで、 N_k^{\min} と N_k^{\max} は、内側サブラミネートと外側サブラミネートに対して異なり得る。 N_{S_inner} は、内側サブラミネートの全体の数であり、一方、 N_{S_outer} は、外側サブラミネートの数の半分である (何故ならば、各半分が他方のミラー画像だからである)。

【 0 0 7 4 】

コントローラ 1 1 2 は、ラミネートのためのプライの全体の数に対する範囲が、そのパネルに対する全体のプライカウントに従うことを更に保証し得る。

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{N_{angles}} N_k^s + N_S \cdot \min \left(N_t^{\min}, \sum_{k=1}^{N_{angles}} N_k^{\min} \right) &\leq \sum_{k=1}^{N_{angles}} N_{ik} \\ &\leq \sum_{k=1}^{N_{angles}} N_k^s + \max \left(N_t^{\max}, \sum_{k=1}^{N_{angles}} N_k^{\max} \right) \end{aligned} \quad (15)$$

10

20

30

40

50

ここで、 N_t^{min} と N_t^{max} は、方向に関わりなく、サブミネートが有することを許容される最少と最大のプライである。

【 0 0 7 5 】

サブミネート毎の方向毎のプライの最少及び最大数は、以下に基づき得る。すなわち、 N_k^{min} は、ユーザによって直接的に設定された値と特定の繊維配向に対して許容されるプライの最大数とのうちの大きい方であり、 N_k^{max} は、ユーザによって直接的に設定された値と以下の方程式からもたらされる数とのうちの最も小さいものである。

$$N_k^{max} = N_t^{max} - \sum_{j=1}^{N_{angles}} (N_j^{min} \text{ for } j \neq k) \quad (16) \quad 10$$

$$N_t^{min} = \sum_{k=1}^{N_{angles}} N_k^{min} \quad (17)$$

$$N_t^{min} \leq N_t^{max} \quad (18) \quad 20$$

【 0 0 7 6 】

上述の計算及び数式を使用して、コントローラ 1 1 2 は、所与の N_s 、積み重ねシーケンス規則の組、及びプライカウントに対して、実行不可能性が存在するか否かを判定し得る。したがって、コントローラ 1 1 2 は、パネルに対するプライカウントが満たされる可能性を有するか否かを自動的に判定し、分析されているパネルにおいて実行不可能性が生じるか否かを自動的に特定し、且つ、少なくとも 1 つの解決策がソリューション空間内に存在することを確実にするために、規則が与えられたとして、幾つのサブミネートが必要とされるかを特定し得る。

【 0 0 7 7 】

実施例のやり方で、サブミネート毎に少なくとも 2 つの 0 ° のプライを要求する積み重ねシーケンス規則を用いて、5 つのサブミネートが選択され、パネルが 8 つの 0 ° のプライを必要とするならば、そのパネルには解決策が存在しない。何故ならば、5 つのサブミネートは、少なくとも 1 0 個の 0 ° のプライを常にもたらすからである。そのような実施例では、ラミネートの方向、問題が生じるパネル、及び違反の種類が、ユーザに示されて、どの規則が修正されるべきかを特定し得る。この実施例では、積み重ねシーケンス規則が、サブミネート毎にただ 1 つの 0 ° のプライを要求するように修正され得る。コントローラ 1 1 2 は、更に進んで、サブミネートの数のどの範囲がパネルに対して特定されたプライカウントに従うかを判定するために、サブミネートの複数の異なる数の各々をチェックし得る (ステップ 1 6 1 6)。例えば、これは、パネルのためのプライカウントの更なる範囲 (サブミネートの異なる数に対応する各更なるプライカウント) を計算することによって、且つ、パネルに対して特定されたプライカウントが、パネルのための更なるプライカウントの範囲に従うか否かを判定することによって、実行され得る。

【 0 0 7 8 】

サブミネートの全ての望ましい数が適合性のチェックを行われていないならば、コントローラ 1 1 2 は、ステップ 1 6 1 0 へ戻り得る。さもなければ、コントローラ 1 1 2 は、ステップ 1 6 0 4 へ進み、複合部品の各パネルが分析されるまで、適合性をチェックする複合部品の次のパネルを特定し得る。

【 0 0 7 9 】

30

40

50

更なる実施形態において、コントローラ 112 は、分析されるべき次のパネルが、既に分析されてしまったパネルに対して特定されたプライカウントと同じ特定されたプライカウントを有することを判定し得る。したがって、コントローラ 112 は、機能的に同じパネルが既に適合性のチェックを行われてしまったので、ステップ 1610、1612、及び 1614 を行わないだろう。内側サブミネートと外側サブミネートが区別される実施形態では、ステップ 1601 ~ 1616 が、2つの分離したループとして実行され得る。それらでは、内側ブロックと外側ブロックに対する異なる N_s が使用され得る。例えば、内側ブロックに対する N_s は、4 以下であり得る。一方、外側ブロックに対する N_s は、任意の適切な高い数であり得る。

【0080】

図 17 は、例示的な一実施形態における、複合部品のパネルのためのプライカウントに対するラミネート 1700 のためのプライカウントの範囲の比較を示す表である。図 17 で示されているように、パネルに対して可能なプライカウントの範囲 1710 は、それらのサブミネートに対する積み重ねシーケンス規則 1712 に加えて、 N_s 、すなわち、最適化の間に使用されるべきサブミネートの数（この場合では、 $N_s = 3$ ）に基づいて、判定される。利用可能なプライカウントの範囲 1710 が、パネルに対して特定されたプライカウント（「パネルプライカウント req' mt」）と比較される。利用可能なプライカウントの範囲 1720 が、各繊維配向に対して特定された望ましいプライカウントを含む限りにおいて、解決策は、そのパネルに対して利用可能なはずである。この場合に、 N_s の現在の値に対して、解決策を見つけることはできない。何故ならば、+90°における範囲は、プライカウントを含まないからである。この結果（「NO」）が、セル 1730 で示されている。

【0081】

全ての望ましいパネル（例えば、複合部品における全てのパネル）が適合性のチェックを行われた後で、コントローラ 112 は、 N_s のどの値が特定のパネル及び/又は全体の複合部品に適合するのかが示すレポートを更に生成し、そのレポートをユーザに提示するようにディスプレイ 118 に指示命令を送信する（ステップ 1618）。該レポートは、複合部品のパネルに対して特定されたプライカウントが、サブミネートによって提供されたプライカウントの範囲に従うか否かを示す。該レポートは、積み重ねシーケンス規則及び/又はプライカウントが、実行不可能であるか否か（すなわち、規則が可能な解決策を有していないと判定されたか否か）を示し得る。該レポートは、 N_s に対する修正が、実行可能な規則をもたらし得るか否かを更に示し得る。更に、実行不可能性が見つかったならば、これらの実行不可能性の位置（例えば、規則が従われないことができないパネル）が提供される。例えば、この詳細な情報は、どの特定の規則がパネルにおいて従われないことができないのかを示し得る。

【0082】

図 18 は、検出された適合性の問題をユーザに対して示すためのディスプレイを介して提示された、レポート 1800 を示している。この場合に、レポート 1800 は、不適合性が検出された位置（パネル 1）、不適合性の性質（90°のプライカウントの対立）、及び不適合性に対する潜在的な解決策（ N_s を 3 つから 4 つへ変更する）を示す。更なる実施形態において、レポートは、どの N_s の値が、パネルに対して特定されたプライカウントに完全に従うプライカウントの範囲を有するかを示す。更なる一実施形態において、コントローラ 112 は、複合部品の少なくとも 1 つのパネルのためのプライカウントの範囲が、そのパネルに対して特定されたプライカウントに従わないことを検出したことに応じて、複合部品の最適化をアクティブに妨げる。

【0083】

サブミネート族の生成

上述された様々な最適化技法及びシステムは、サブミネートのライブラリの自動的な生成に携わるコントローラ 112 によって更に改良され得る。これは、積み重ねシーケンス規則の新しい組が規定されるときは何時でも、それらの積み重ねシーケンス規則に従う

10

20

30

40

50

サブミネートの新しいライブラリが、最適化における使用に対して急速に展開され得ることを保証する。

【0084】

一実施形態では、コントローラ112が、特定のサイズまでの全ての可能な規則に従うサブミネートを、自動的に特定し且つ生成する。これは、規則のその組に対するブロックサイズが変更されるか否かに関わりなく、一組の積み重ねシーケンス規則に対して、サブミネートのライブラリが一度は生成されることを可能にする。したがって、新しい従順なライブラリが、数秒又は数分内にコントローラ112によって素早く生成され、このライブラリからのサブミネートが、その後、複合部品を最適化するとき利用され得る。複合部品の設計が、しばしば、繰り返しプロセスであるため、サブミネートのライブラリを急速に規則の新しい組に適合させる能力は、非常に有益であり、大きな時間の節約になる。更に、以下で説明される技法を介して生成されるライブラリは、異なる組の規則に従うサブミネートの変動する特性を探求するために、異なる設計者によって利用され得る。

10

【0085】

コントローラ112は、(例えば、ユーザから又はメモリ116から)積み重ねシーケンス規則を取得し、サブミネート内で使用するプライ/層の最大数を判定する。積み重ねシーケンス規則は、如何にして異なる方向のプライが、サブミネート内に積み重ねられるべきかを示す。積み重ねシーケンス規則が定性的である実施形態では、コントローラ112が、その定性的な規則を定量的な規則へ変換するために、これらの積み重ねシーケンス規則の数学的な解釈に携わる。例えば、コントローラ112は、繊維配向がパネル内で4回以上繰り返さないという要件を有する、プライの「散りばめられた方向」に対する定性的な要件を置き換え得る。

20

【0086】

例示的な定量的な規則は、1以上のパネルで使用される全体のプライの最少数を示す最少の全プライの制約、パネルにおいてプライの方向毎に使用されるプライの最少数を示す最少のプライの制約、及びパネルにおいてプライの方向毎に使用されるプライの最大数を示す最大のプライの制約を含み得る。このやり方では、積み重ねシーケンス規則が、繊維配向毎のサブミネートに対するプライカウントの許容可能な範囲を規定し得る。更なる定量的な規則は、パネルにおいて連続的に積み重ねられる特定の方向のプライの最少数を示す最少の連続プライの制約、及びパネルにおいて連続的に積み重ねられる特定の方向のプライの最大数を示す最大の連続プライの制約を含む。したがって、積み重ねシーケンス規則は、同じ繊維配向の連続的なプライの許容可能な数を規定し得る。また更なる定量的な規則は、パネルにおける特定のプライが特定の方向を有する(又は一組の特定の方向のうちの一つである)ことを特定するアクティブなシーケンス制約、特定の方向のプライが常にサブミネートを通して互いに対して交互にならなければならないことを要求する交互の組の制約、及びサブミネート内に表れることが許容されない繊維配向の連続的なシーケンスを規定する許容されない配列を含む。これらの規則、及び他のセクションで説明される規則は、任意の適切なやり方で組み合わせられ修正され得る。

30

【0087】

一旦、一組の定量的な積み重ねシーケンス規則が判定されると、コントローラ112は、2つの段階のプロセスに携わる。第1の段階では、積み重ねシーケンス規則のうちの一部が、候補のサブミネートのツリーを削減するために使用される。削減の後で、ツリー内の各サブミネートは、潜在的に全ての積み重ねシーケンス規則に従うが、未だ全てのそのような規則に従うことが保証されていない候補である。ツリーは、反復を介して生成され得る。それは、完全なサブミネートを生成することが必要とされる計算時間を大幅に緩和する。何故ならば、非従順なツリーの枝は、早い段階で削減され得るからである。第2の段階は、サブミネートの候補のツリーをレビューし、且つ、規則に従順であり得る各可能な枝をチェックする。規則の完全な組みに違反する任意の候補のサブミネートも、削減される。したがって、結果としての削減されたツリーは、積み重ねシーケンス規

40

50

則に従うサブラミネートのみから成ることが保証される。

【0088】

生成プロセスの第1の目的は、層の最大数まで、全ての可能な規則に従うサブラミネートを生み出すことである。例えば、コントローラ112は、上述の表2で説明された一組の規則に従う全てのサブラミネートのライブラリを生成し得る。しかし、上述のように、生成プロセスは、規則の新しい組に対するサブラミネートの新しいライブラリを生成するために、繰り返し実行され得る。

【0089】

コントローラ112は、ツリー生成に携わるために、ハードウェアプロセッサによって又は独立したハードウェアとして実装される、複数の構成要素を含み得る。図19によって示されるように、これらの構成要素は、候補のサブラミネートのツリーを生成するサブラミネート候補ツリー生成器1902、及び積み重ねシーケンス規則の全てに従うことに失敗した候補のサブラミネートの枝を削減する適合性チェッカー1910を含み得る。サブラミネート候補ツリー生成器1902は、シーケンス方向チェッカー1904を利用して、積み重ねシーケンス規則との適合性のためにサブラミネートをチェックし、枝削減器1906を利用して、積み重ねシーケンス規則に従わないサブラミネートを除去し、且つ、候補ブランチャ1908を利用して、以前のサブラミネートから新しいサブラミネートを生成し得る。適合性チェッカー1912は、完全適合性チェッカー1912を利用して、更なる規則との適合性のために候補のサブラミネートの生成されたツリーをチェックし得る。

【0090】

この実施形態に対して、ユーザが、積み重ねシーケンス規則を修正し、且つ、新しい積み重ねシーケンス規則に従うサブラミネートの新しいライブラリを生成することを望んでいると想定する。コントローラ112は、積み重ねシーケンス規則に対する変更を検出し、図20及び図21で示されているように、その変更に応じて、サブラミネートの新しいライブラリの2段階の生成を開始する。

【0091】

段階1は、コントローラ112が、ツリーを介して候補のサブラミネートのリストを生成することを含む。ツリーを利用してサブラミネートを評価することは、サブラミネートの非従順な枝が、できる限り早く削減されることを保証し、それは、ライブラリを生成するときに全体の処理時間を低減させる。段階1は、コントローラ112が、各々が繊維配向のユニークなシーケンスを有する連続的に積み重ねられた層/プライを備える、「ルート」サブラミネートを生成する(ステップ2002)。例えば、これらのルートサブラミネートは、層の選択された最少数を用いて生成され得る。ルートサブラミネートは、そこからより大きなサブラミネートが生成されるところの、基本的なサブラミネートである。コントローラ112は、如何にして繊維配向がサブラミネートの層にわたり並べられるかを制約する、積み重ねシーケンス規則との適合性のために、新しく生成されたサブラミネートをチェックする。例えば、これは、繊維配向毎の新しいサブラミネートに課された最少、最大、及び/又は連続的なプライカウントの制限との適合性をチェックすること、積み重ねの「上端」に適用されるアクティブな配置の制約をチェックすること、繊維配向の許容されない配置をチェックすること、及び/又は交互になると予測される繊維配向内の不具合をチェックすることを含み得る。例えば、+45°及び-45°の繊維配向が、サブラミネートを通して互いに対にされ又は交互になると予測されるならば、コントローラ112は、+45°及び-45°の繊維配向を有する層の数をカウントし得る。+45°の層の数が2以上であり又は-45°の層の数未満であるならば、サブラミネートは、そのようなペアリングの規則に非従順であり得るので、したがって、捨てられ得る。

【0092】

コントローラ112は、進み、積み重ねシーケンス規則に従わない新しく生成されたサブラミネートを除去し(ステップ2006)、最大のサブラミネートのサイズ(すなわち、層の最大数)が、到達されたか否かを見るためにチェックする(ステップ2008)。

最大のサイズが、未だ到達されていないならば、コントローラ 112 は、最も新しく生成されたサブミネートを、古いサブミネートとして合図し得る。これらの古いサブミネートは、各々が更なる層を含む新しいサブミネートの生成において使用され得る（ステップ 2010）。新しいサブミネートは、古いサブミネートに層を追加して、繊維配向のユニークなシーケンスを有する新しいサブミネートを生成することによって、古いサブミネートに基づいて生成される。

【0093】

特に、生成プロセスは、除去されていない古いサブミネートを選択すること（ステップ 2012）、及び古いサブミネートに追加される層のためのユニークな繊維配向を選択すること（ステップ 2014）を含む。その後、コントローラ 112 は、古いサブミネートに、繊維配向を有する層を付け加えることによって、新しいサブミネートを生成する（ステップ 2016）。全ての利用可能な繊維配向（例えば、 0° 、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 90° ）が、古いサブミネートから新しいサブミネートを生成するために使用され（ステップ 2018）ていないならば、別の繊維配向がステップ 2012 で選択されて、別の新しいサブミネートが、古いサブミネートから生成される。

【0094】

一実施形態では、新しい層のための繊維配向が選択されるときに、シーケンス方向チェッカー 1904 が、新しい層のための各潜在的な繊維配向をレビューし、新しい層に対して許容された繊維配向のリストを構築する。許容された既知の方向を用いて、候補ブランチャー 1908 は、サブミネートの候補のツリー内の全てのリーフ（leaves）を横断し、許容された方向の各角度を新しい枝として付け加える。一旦、各枝が生成されると、枝削減器 1906 は、新しい枝の全てについて積み重ねシーケンス規則に違反しているかチェックする。規則違反によって拒絶されるべきことが分かった任意の枝は削減され、したがって、その経路に沿って更なる枝は生み出されない。

【0095】

代替的に、全ての利用可能な繊維配向が、選択された古いサブミネートに対して新しいサブミネートを生成するために使用されると、コントローラ 112 は、（例えば、層の以前の数を有する）全ての残りのサブミネートが、新しいサブミネートを生成するために使用されたか否かを見るためにチェックする（ステップ 2020）。より古いサブミネートが残っているならば、コントローラ 112 は、ステップ 2012 で別の 1 つの古いサブミネートを選択し、進んで、更なる新しいサブミネートを生成する。代替的に、全ての古いサブミネートが新しいサブミネートを生成するために使用されたならば、プロセスはステップ 2004 へ戻る。このやり方において、コントローラ 112 は、層の最大数が到達されるまで、新しいサブミネートを、チェックし、除去し、且つ、生成することを反復的に繰り返す。

【0096】

上述のように、プロセスは、反復的に実行され、何時でも、新しい層がサブミネートのライブラリに追加されることを繰り返す。したがって、プロセスは、 X 個の層（例えば、3 つの層）を有するサブミネートを用いて開始し、その後、 $X+1$ 個の層を有するサブミネートへ進み得るなどである。このやり方において、プロセスは、最大サイズを有するサブミネートが、生成され、積み重ねシーケンス規則との適合性をチェックされるまで、継続する。一実施形態では、コントローラが、整数ツリーを横断することによって再帰的にチェックし、除去し、且つ、生成することを繰り返す。各サブミネートは、整数ツリー内にノードを備え、各サブミネートからの枝の数は、利用可能な繊維配向の数に相当する。利用可能な繊維配向の数及び種類は、変動し得る。

【0097】

ツリーがサブミネートを用いて最大サイズまで満たされた後で、ツリー内に残された全てのサブミネートは、候補のサブミネートであると考えられる。それらは、潜在的に、規則に完全に従っている。しかし、ある規則は、サブミネートが完全に完了する後まで、分析に対して修正可能ではないかもしれない。例えば、サブミネートの積み重ね

10

20

30

40

50

の上端の代わりに、積み重ねの底から考慮されるアクティブな配置の規則は、方法 200 の間に考慮されない。何故ならば、これらの制約は、そこから実行可能なサブミネートが生成され得るところの、枝を削減し得るからである。アクティブな配置の規則が、サブミネートの最後の角度が 0° でなければならぬことを特定した、ツリー生成の間に適用されたならば、枝削減器 1906 は、 0° のプライにおいて終わらなかったサブミネートを除去し得る。しかし、そのような除去されたサブミネートを含んだ、且つ、それでも 0° において終わった、より大きなサブミネートも、このプロセスによって削減され得る。したがって、早く削減することは、損なわれた従順なサブミネートをもたらす。したがって、適合性チェッカーは、ツリーが完了され且つ候補で満たされてしまうまでに、そのような規則との適合性のためのサブミネートのレビューを保留する。

10

【0098】

全ての規則との適合性のチェックは、ツリーの生成の間に望ましくないので、更なる積み重ねシーケンス規則との適合性は、ツリーが方法 2000 によって生成されてしまった後で、第 2 の段階でチェックされ得る。第 2 の段階では、適合性チェッカー 1910 が、枝削減器 1906 によってチェックされなかった全ての規則をチェックする。したがって、第 1 の段階の完了の後で、ツリー内に存在する各候補のサブミネートは、適合性チェッカー 1910 へパスされ、適合性チェッカー 1910 は、更なる積み重ねシーケンス規則に基づいて、サブミネートを受け入れるか又は拒絶するかのうちの何れかである。任意の規則が違反されたならば、候補のサブミネートは拒絶される。このプロセスの終わりにおいて、全ての積み重ねシーケンス規則を成功裡に満たす、それらの候補のサブミネートだけが残る。これらのサブミネートは、生産物として戻り、上述の最適化プロセスにおいて使用されるためのサブミネートのライブラリとして、メモリ 116 内に記憶され得る。

20

【0099】

図 21 は、分析の第 2 の段階において、更なる積み重ねシーケンス規則との、候補のサブミネートの適合性をチェックするための方法 2100 を提供する。方法 2100 は、ツリーが生成された後で、コントローラ 112 が、更なる積み重ねシーケンス規則との適合性のために未だ除去されなかった全てのサブミネートをチェックし、更なる積み重ねシーケンス規則に従わないサブミネートを除去することを可能にする。方法 2100 によれば、コントローラ 112 は、(例えば、サブミネートの底の X 個の層内の繊維配向の特定の順序の組を要求する)「ボトムアップ」配置の要件、又は対にされた繊維配向の間の逸脱を許容しない要件などの、更なる積み重ねシーケンス規則を特定する。例えば、更なる積み重ねシーケンス規則は、第 1 の繊維配向 (例えば、 $+45^\circ$) のプライが、第 2 の繊維配向 (例えば、 -45°) のプライと対にならなければならないことを示し得る。逸脱のためのチェックは、トップダウンでサブミネートの層をアクティブにレビューし、対にされるべき 1 つの繊維配向を有する 1 つの層が遭遇されたときは何時でも、それが、繰り返しの前に、対における他の繊維配向によって後続されることを確実にする。例えば、チェックは、 $+45^\circ$ の層又は -45° の層が遭遇されるときは何時でも、それが、繰り返される前に、他の対の繊維配向 (例えば、それぞれ、 -45° 及び $+45^\circ$) の層によって後続されることを確実にし得る。

30

40

【0100】

コントローラ 112 は、候補のサブミネートを更に選択し (ステップ 2104)、更なる積み重ねシーケンス規則との適合性のために選択された候補のサブミネートをチェックする (ステップ 2106)。サブミネートが非従順ならば (ステップ 2108)、それは除去される (ステップ 2110)。代替的に、サブミネートが従順ならば、プロセスは、サブミネートを除去することなしに前へ進む。コントローラ 112 は、全ての候補のサブミネートが、更なる積み重ねシーケンス規則との適合性をチェックされたか否かを判定する (ステップ 2114)。全ての候補のサブミネートがチェックされていなければ、プロセスは、ステップ 2014 へ戻り、新しい候補のサブミネートが選択される。全ての候補のサブミネートがチェックされたら、コントローラ 2116 は、複合

50

部品を設計するための利用可能なサブミネートのライブラリとして、サブミネートをメモリ 116 内に記憶する (ステップ 2116)。

【0101】

図 22 は、 $[0^\circ / 45^\circ / 0^\circ / 0^\circ]$ に方向付けられた、4 つのプライ 2212、2214、2216、及び 2218 を有する、単一の古いサブミネート 2210 を備えた、ツリー 2200 のための枝生成のプロセスの一実施例を示している。この実施例では、任意の所与のプライに対して許容された、4 つの繊維配向が存在する。すなわち、 0° 、 45° 、 -45° 、及び 90° である。シーケンス方向チェッカー 1904 は、全ての 4 つの新しい方向が、候補として考慮されることを可能にする。何故ならば、このシーケンスにはアクティブなシーケンスの制約が存在しないからである。その後、候補ブランチャー 1908 は、現在のサブミネートの候補のノードに、これらの 4 つの方向を付け加えることによって生み出され得る、様々な新しいサブミネートに対応するサブミネート 2210 から枝分かれする、4 つの新しいサブミネートを生み出す。その後、枝削減器 1906 は、これらの 4 つの新しいサブミネートのうちの 3 つが、異なる積み重ねシーケンス規則に違反することを特定する。第 1 の新しいサブミネート 2220 は、層 2222 を含む。層 2222 は、共に最大で 2 つの 0° のプライの最大連続プライ制約に違反する。第 1 の新しいサブミネート 2220 は、3 つの連続的な 0° のプライを生み出し、したがって、除去される。第 2 の新しいサブミネート 2230 は、提供された対のプライの規則 (例えば、交互の組の制約) に違反する層 2232 を含む。何故ならば、2 つの 45° の方向は、インターリム -45° なしに現れるからである。第 3 の新しいサブミネート 2240 は、積み重ねシーケンス規則の違反をもたらさない、新しい層 2242 として許容される。しかし、第 4 の新しいサブミネート 2250 は、シーケンス $[0^\circ / 0^\circ / 0^\circ / 90^\circ]$ が任意のサブミネートにおいて現れることが許容されないことを示す、許容されないシーケンスの制約に違反する、層 2252 を含む。したがって、枝削減器 1906 は、規則に従わない 3 つの新しいサブミネートを除去する。1 つの枝のみが、許容可能な新しいサブミネートとして残る。

【0102】

航空機製造への適用

図面を更に具体的に参照しながら、本開示の実施形態を、図 23 に示す航空機の製造及び保守方法 2300、及び図 24 に示す航空機 2302 に照らして説明する。製造前段階では、例示的な方法 2300 が、航空機 2302 の仕様及び設計 2304 と材料の調達 2306 とを含み得る。製造段階では、航空機 2302 の構成要素及びサブアセンブリの製造 2308 と、システムインテグレーション 2310 とが行われる。その後、航空機 2302 は認可及び納品 2312 を経て運航 2314 に供される。顧客により運航される間に、航空機 2302 は、改造、再構成、改修なども含み得る、定期的な整備及び保守 2316 が予定される。

【0103】

方法 2300 の各工程は、システムインテグレータ、第三者、及び / 又はオペレータ (例えば顧客) によって、実行又は実施され得る。本明細書の目的のために、システムインテグレータは、限定しないが、任意の数の航空機製造者、及び主要システムの下請業者を含むことができ、第三者は、限定しないが、任意の数のベンダー、下請業者、及び供給業者を含むことができ、オペレータは、航空会社、リース会社、軍事団体、サービス機関などであり得る。

【0104】

図 24 に示すように、例示的な方法 2300 によって製造された航空機 2302 は、複数のシステム 2320 及び内装 2322 を備えた機体 2318 を含み得る。高次のシステム 2320 の例には、推進システム 2324、電気システム 2326、油圧システム 2328、及び環境システム 2330 のうち 1 以上が含まれる。任意の数の他のシステムも含まれ得る。航空宇宙産業の例を示しているが、本発明の原理は、自動車産業などの他の産業にも適用され得る。

【 0 1 0 5 】

本明細書中で実施される装置及び方法は、製造及び保守方法 2 3 0 0 の任意の 1 以上の段階において用いられ得る。例えば、製造段階 2 3 0 8 に対応する構成要素又はサブアセンブリは、航空機 2 3 0 2 の運航中に製造される構成要素又はサブアセンブリと類似の方法で作製又は製造され得る。また、1 以上の装置の実施形態、方法の実施形態、又はそれらの組み合わせは、例えば、航空機 2 3 0 2 の組み立てを実質的に効率化するか、又は航空機 2 3 0 2 のコストを削減することにより、製造段階 2 3 0 8 及び 2 3 1 0 において利用され得る。同様に、装置の実施形態、方法の実施形態、又はそれらの組み合わせのうちの 1 以上を、航空機 2 3 0 2 の運航中に、例えば限定しないが、整備及び保守 2 3 1 6 に利用することもできる。

10

【 0 1 0 6 】

一実施形態では、複合設計システム 1 1 0 が、機体 1 1 8 の一部分のための複合部品の仕様及び設計の間に利用される。これは、複合部品 1 5 0 が、構成要素及びサブアセンブリの製造 2 3 0 8 において製造されることを可能にし、その後、システムインテグレーション 2 3 1 0 において航空機へ組み立てられることを可能にする。その後、部品 1 5 0 は、摩耗が部品 1 5 0 を使えなくするまで運航 2 3 1 4 で使用され得る。その後、整備及び保守 2 3 1 6 は、部品 1 5 0 が、捨てられ、且つ、複合設計システム 1 1 0 によって生成された設計に基づいて、新しく製造された部品 1 5 0 と交換され得る。

【 0 1 0 7 】

本明細書に記載の図面で示される又は説明される様々な要素のうちの任意のものが、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、又はこれらの何らかの組み合わせとして実装され得る。例えば、ある要素が専用ハードウェアとして実装され得る。専用ハードウェア要素は、「プロセッサ」、「コントローラ」、又は同様の何らかの用語で称され得る。プロセッサによって提供される場合、単一の専用プロセッサによって、単一の共有プロセッサによって、又はそのうちの幾つかが共有であり得る複数の個別のプロセッサによって、機能が提供され得る。更に、「プロセッサ」又は「コントローラ」の語の明確な使用は、ソフトウェアの実行が可能なハードウェアのみを表すと解釈されるべきでなく、非限定的に、デジタル信号プロセッサ (DSP) ハードウェア、ネットワークプロセッサ、特定用途向け集積回路 (ASIC) 若しくは他の回路、フィールドプログラマブルゲートアレイ (FPGA)、ソフトウェア記憶用のリードオンリメモリ (ROM)、ランダムアクセスメモリ (RAM)、不揮発性ストレージ、ロジックもしくは何らかの他の物理的ハードウェアコンポーネントもしくはモジュールなどを黙示的に含み得る。

20

30

【 0 1 0 8 】

また、ある要素が、その要素の機能を実施するためにプロセッサ又はコンピュータによって実行可能な指示命令として実装され得る。指示命令の幾つかの例は、ソフトウェア、プログラムコード、及びファームウェアである。指示命令は、その要素の機能をプロセッサに実施させるように、プロセッサによって実行されるときに動作可能である。指示命令はプロセッサによって可読な記憶装置に記憶され得る。記憶装置の幾つかの例は、デジタル若しくは半導体メモリ、磁気ディスク及び磁気テープなどの磁気記憶媒体、ハードドライブ、又は光学可読デジタルデータ記憶媒体である。

40

【 0 1 0 9 】

したがって、要約すると、本発明の第 1 態様によって下記が提供される。

A 1

多層複合部品を設計することを含む方法であって、

前記部品を、その深さに沿って、各々が前記部品内に連続的な層の積み重ねを備えた複数のブロックへ更に分割すること (5 0 2)、

如何にして異なる繊維配向を有する層が、前記部品内に積み重ねられるかを制約する規則を特定すること (5 0 4)、

前記ブロックの各層に対する繊維配向を規定し且つ前記規則に従う、前記ブロックのためのガイドを生成すること (5 0 6)、

50

前記ブロックのための前記ガイドに適合し且つ前記規則に従う、前記ブロックのための連続的なプライシーケンスを備えたサブミネートを特定すること(508)、

前記部品を、各々が前記複合部品の領域の断片を備えた複数のパネルへ更に分割すること(510)、及び

隣接する前記パネルのための適合したサブミネートに基づいて、前記ブロックの前記パネルのうちの1つに対して、前記適合したサブミネートのうちの1つを選択すること(512)によって、設計することを含む、方法。

A 2

前記適合したサブミネートのうちの1つを選択することが、前記複合部品のうちの1つの層内のプライ形状の総計の境界の長さを低減させる、1つの適合したサブミネートを選択することを含む、項A1に記載の方法。

10

A 3

前記適合したサブミネートのうちの1つを選択することが、前記複合部品内のプライ形状を生成するために実行される切断の総計の数を低減させる、1つの適合したサブミネートを選択することを含む、項A1に記載の方法。

A 4

前記適合したサブミネートのうちの1つを選択することが、前記複合部品内のプライ形状のための平均コース長さを増加させる、1つの適合したサブミネートを選択することを含む、項A1に記載の方法。

A 5

前記適合したサブミネートのうちの1つを選択することが、前記複合部品内のプライ形状のための内部コーナーの総計の数を低減させる、1つの適合したサブミネートを選択することを含む、項A1に記載の方法。

20

A 6

前記サブミネートが、前記パネルに繊維が付けられていない空の層を含む、項A1に記載の方法。

A 7

前記サブミネートが、前記規則に違反することなしに、前記複合部品内で互いの上に積み重ねられるように構成されている、項A1に記載の方法。

【0110】

本発明の更なる一態様により、下記が提供される。

B 1

多層複合部品(150)の形状を示す入力を受信するように構成されたインターフェース(114)、

前記部品を、その深さに沿って、各々が前記部品内に連続的な層の積み重ね(410)を備えた複数のブロック(B1、B2)へ更に分割すること、如何にして異なる繊維配向を有する層が、前記部品内に積み重ねられるかを制約する規則を特定すること、前記ブロックの各層に対する繊維配向を規定し且つ前記規則に従う、前記ブロックのためのガイドを生成すること、前記ブロックのための前記ガイドに適合し且つ前記規則に従う、前記ブロックのための連続的なプライシーケンスを備えたサブミネートを特定すること、前記部品を、各々が前記複合部品の領域の断片を備えた複数のパネル(310)へ更に分割すること(510)、及び隣接する前記パネルのための適合したサブミネートに基づいて、前記ブロックの前記パネルのうちの1つに対して、前記適合したサブミネートのうちの1つを選択することによって、前記部品のための設計を生成するように構成された、コントローラ(112)、並びに

30

40

前記設計を、前記部品を構築する自動繊維配置(AFP)機による使用のために選択されたサブミネートの組み合わせとして記憶するように構成された、メモリを備える、装置。

B 2

前記コントローラが、前記複合部品のうちの1つの層内のプライ形状の総計の境界の長

50

さを低減させる、1つの適合したサブミネートを選択することによって、1つの適合したサブミネートを選択するように構成されている、項B1に記載の装置。

B3

前記コントローラが、前記複合部品内のプライ形状を生成するために実行される切断の総計の数を低減させる、1つ適合したサブミネートを選択することによって、1つの適合したサブミネートを選択するように構成されている、項B1に記載の装置。

B4

前記コントローラが、前記複合部品内のプライ形状のための平均コース長さを増加させる、1つの適合したサブミネートを選択することによって、1つの適合したサブミネートを選択するように構成されている、項B1に記載の装置。

10

B5

前記コントローラが、前記複合部品内のプライ形状のための内部コーナーの総計の数を低減させる、1つの適合したサブミネートを選択することによって、1つの適合したサブミネートを選択するように構成されている、項B1に記載の装置。

B6

前記適合したサブミネートが、前記パネルに繊維が付けられていない空の層を含む、項B1に記載の装置。

B7

前記適合したサブミネートが、前記規則に違反することなしに、前記複合部品内で互いに共に積み重ねられることができる、項B1に記載の装置。

20

【0111】

本発明の更なる一態様により、下記が提供される。

C1

プロセッサによって実行されたときに、方法を実行するために動作可能な、プログラムされた指示命令を有する、非一時的コンピュータ可読媒体であって、前記方法が、多層複合部品を設計することであって、

前記部品を、その深さに沿って、各々が前記部品内に連続的な層の積み重ねを備えた複数のブロックへ更に分割すること(502)、

如何にして異なる繊維配向を有する層が、前記部品内に積み重ねられるかを制約する規則を特定すること(504)、

30

前記ブロックの各層に対する繊維配向を規定し且つ前記規則に従う、前記ブロックのためのガイドを生成すること(506)、

前記ブロックのための前記ガイドに適合し且つ前記規則に従う、前記ブロックのための連続的なプライシーケンスを備えたサブミネートを特定すること(508)、

前記部品を、各々が前記複合部品の領域の断片を備えた複数のパネルへ更に分割すること(510)、及び

隣接する前記パネルのための適合したサブミネートに基づいて、前記ブロックの前記パネルのうちの1つに対して、前記適合したサブミネートのうちの1つを選択すること(512)によって、設計することを含む、媒体。

C2

前記適合したサブミネートのうちの1つを選択することが、

前記複合部品のうちの1つの層内のプライ形状の総計の境界の長さを低減させる、1つの適合したサブミネートを選択することを含む、項C1に記載の媒体。

40

C3

前記適合したサブミネートのうちの1つを選択することが、

前記複合部品内のプライ形状を生成するために実行される切断の総計の数を低減させる、1つの適合したサブミネートを選択することを含む、項C1に記載の媒体。

C4

前記適合したサブミネートのうちの1つを選択することが、

前記複合部品内のプライ形状のための平均コース長さを増加させる、1つの適合したサ

50

ブラミネートを選択することを含む、項 C 1 に記載の媒体。

C 5

前記適合したサブラミネートのうちの 1 つを選択することが、
前記複合部品内のプライ形状のための内部コーナーの総計の数を低減させる、1 つの適合したサブラミネートを選択することを含む、項 C 1 に記載の媒体。

C 6

前記サブラミネートが、前記パネルに繊維が付けられていない空の層を含む、項 A 1 に記載の方法。

【 0 1 1 2 】

本発明の更なる一態様により、下記が提供される。

D 1

多層複合部品の形状を示す入力を受信すること、
前記部品のためのプライシーケンスの配置を示す設計を生成すること、
前記部品を、その深さに沿って、各々が前記部品内に連続的な層の積み重ねを備えた複数のブロックへ更に分割すること (5 0 2)、

如何にして異なる繊維配向を有する層が、前記部品内に積み重ねられるかを制約する規則を特定すること (5 0 4)、

前記規則に従う、前記ブロックのための繊維配向の組を特定すること、

前記ブロックを、各々が前記複合部品の領域の断片を備えた複数のパネル (3 1 0) へ更に分割すること (5 1 0)、

隣接する前記パネルのための繊維配向の組に基づいて、前記パネルのうちの 1 つに対して、前記繊維配向の組のうちの 1 つを選択すること、及び

前記部品を構築する自動繊維配置 (A F P) 機による使用のための前記設計を記憶するように、メモリを構成することを含む、方法。

【 0 1 1 3 】

本発明の更なる一態様により、下記が提供される。

E 1

各々が複合部品の領域の断片を備える複数のパネル (3 1 0) へ更に分割される、多層複合部品 (2 5 0) の層のための繊維配向を最適化する実行可能性を選択的に分析するための方法 (1 6 0 0) であって、

最適化の間に利用される連続的に積み重ねられた層を備えるサブラミネートの組成を制約する積み重ねシーケンス規則を特定すること (1 6 0 2)、

前記複合部品の各パネルに対して (1 6 0 4 、 1 6 0 6)、

前記パネルにおけるプライの数を制約するプライカウントを特定すること (1 6 0 8)、

前記パネルの最適化の間に利用するサブラミネートの数を選択すること (1 6 1 0)

、
前記サブラミネートの数及び前記積み重ねシーケンス規則に基づいて、ラミネートのためのプライカウントの範囲を計算すること (1 6 1 2)、及び

前記ラミネートのための前記プライカウントの範囲が、前記パネルに対する前記プライカウントに従うか否かを判定すること (1 6 1 4) によって、

前記パネルを分析すること、並びに

前記パネルに対する前記プライカウントが、前記ラミネートのための前記プライカウントの範囲に適合するか否かを示す、レポートを提示するように、指示命令を送信すること (1 6 1 8) を含む、方法。

E 2

サブラミネートの複数の数の各々に対して (1 6 1 6 、 1 6 1 0)、

ラミネートのための更なるプライカウントの範囲を計算すること、及び

前記パネルに対する前記プライカウントが、そのラミネートのための前記更なるプライカウントの範囲に従うか否かを判定すること (1 6 1 2) を更に含む、項 E 1 に記載の方

10

20

30

40

50

法。

E 3

前記パネルに対する前記プライカウントが、前記ラミネートのための前記プライカウントの範囲に従うところの、前記サブラミネートの数を、前記レポートが示す、項 E 2 に記載の方法。

E 4

サブラミネートの複数の許容された数が存在し、
前記方法が、

前記パネルに対する前記プライカウントが、前記サブラミネートの許容された数の何れかのための前記プライカウントの範囲に従わないと判定したことに応じて、前記複合部品の最適化を妨げることを含む、項 E 1 に記載の方法。

10

E 5

次のパネルが、既に分析されたパネルに対するプライカウントと同じプライカウントを有することを検出すること、及び前記検出に応じて、

前記次のパネルの最適化の間に利用するサブラミネートの数を選択しないこと、及び前記次のパネルに対応するラミネートのためのプライカウントの範囲を計算しないことを更に含む、項 E 1 に記載の方法。

E 6

前記プライカウントが、繊維配向毎のプライの数を示す、項 E 1 に記載の方法。

E 7

前記積み重ねシーケンス規則が、繊維配向に基づいて、サブラミネートのためのプライの最少数及び最大数を規定する(1712)、項 E 1 に記載の方法。

20

【0114】

本発明の更なる一態様により、下記が提供される。

F 1

プロセッサによって実行されたときに、各々が複合部品の領域の断片を備える複数のパネル(310)へ更に分割される、多層複合部品(150)の層のための繊維配向を最適化する実行可能性を選択的に分析するための方法(600)を実行するように動作可能な、プログラムされた指示命令を有する、非一時的コンピュータ可読媒体であって、前記方法が、

30

最適化の間に利用される連続的に積み重ねられた層を備えるサブラミネートの組成を制約する積み重ねシーケンス規則を特定すること(1602)、

前記複合部品の各パネルに対して(1604、1606)、

前記パネルにおけるプライの数を制約するプライカウントを特定すること(1608)、

前記パネルの最適化の間に利用するサブラミネートの数を選択すること(1610)

、
サブラミネートの数及び積み重ねシーケンス規則に基づいて、ラミネートのためのプライカウントの範囲を計算すること(1612)、及び

前記ラミネートのための前記プライカウントの範囲が、前記パネルに対する前記プライカウントに従うか否かを判定すること(1614)によって、

40

前記パネルを分析すること、並びに

前記パネルに対する前記プライカウントが、前記ラミネートのための前記プライカウントの範囲に適合するか否かを示す、レポートを提示するように、指示命令を送信することを含む、媒体。

F 2

サブラミネートの複数の数の各々に対して(1616、1610)、

ラミネートのための更なるプライカウントの範囲を計算すること、及び前記パネルに対する前記プライカウントが、そのラミネートのための前記更なるプライカウントに従うか否かを判定すること(1612)を更に含む、項 F 1 に記載の媒体。

50

F 3

前記パネルに対する前記プライカウントが、前記ラミネートのための前記プライカウントの範囲に従うところの、前記サブラミネートの数を、前記レポートが示す、項 F 2 に記載の媒体。

F 4

サブラミネートの複数の許容された数が存在し、
前記方法が、

前記パネルに対する前記プライカウントが、前記サブラミネートの許容された数の何れかのための前記プライカウントの範囲に従わないと判定したことに応じて、前記複合部品の最適化を妨げることを含む、項 F 1 に記載の媒体。

10

F 5

次のパネルが、既に分析されたパネルに対するプライカウントと同じプライカウントを有することを検出すること、及び前記検出に依りて、

前記次のパネルの最適化の間に使用するサブラミネートの数を選択しないこと、及び前記次のパネルに対応するラミネートのためのプライカウントの範囲を計算しないことを更に含む、項 F 1 に記載の媒体。

F 6

前記プライカウントが、繊維配向毎のプライの数を示す、項 F 1 に記載の媒体。

F 7

前記積み重ねシーケンス規則が、繊維配向に基づいて、サブラミネートのためのプライの最少数及び最大数を規定する (1 7 1 2)、項 F 1 に記載の媒体。

20

【 0 1 1 5 】

本発明の更なる一態様により、下記が提供される。

G 1

多層複合部品 (1 5 0) の形状を示す入力を受信するインターフェース (1 1 4)、

各々が前記複合部品の領域の断片を備えた複数のパネル (3 1 0) へ前記複合部品を更に分割すること、及びそれらのパネルの層 (4 1 0) に対する繊維配向を選択する最適化に携わることによって、前記部品のための設計を生成する、コントローラ (1 1 2) を備え、

前記コントローラが、最適化の間に利用される連続的に積み重ねられた層を備えるサブラミネートの組成 (2 2 1 0) を制約する積み重ねシーケンス規則 (1 7 1 2) を特定し、前記複合部品の各パネルに対して、前記パネルにおけるプライの数を制約するプライカウントを特定することによって前記パネルを分析し、前記パネルの最適化の間に使用するサブラミネートの数を選択し、前記サブラミネートの数及び前記積み重ねシーケンス規則に基づいて、ラミネートのためのプライカウントの範囲を計算し、前記パネルに対する前記プライカウントが、前記ラミネートのためのプライカウントの範囲に従うか否かを判定し、

30

前記コントローラが、前記パネルに対するプライカウントが、前記ラミネートのためのプライカウントの範囲に適合するか否かを示す、レポートを呈示するように、指示命令を送信する、装置。

40

G 2

サブラミネートの複数の数の各々に対して、前記コントローラが、ラミネートのための更なるプライカウントの範囲を計算し、パネルに対するプライカウントが、そのラミネートのための前記更なるプライカウントの範囲に従うか否かを判定する、項 G 1 に記載の装置。

G 3

前記パネルに対する前記プライカウントが、前記ラミネートのための前記プライカウントの範囲に従うところの、前記サブラミネートの数を、前記レポートが示す、項 G 2 に記載の装置。

G 4

50

サブミネートの複数の許容された数が存在し、

パネルに対するプライカウントが、前記サブミネートの許容された数の何れかのためのプライカウントの範囲に従わないと判定したことに応じて、前記コントローラが、前記複合部品の最適化を妨げることを含む、項 G 1 に記載の装置。

G 5

前記コントローラが、次のパネルが、既に分析されたパネルに対するプライカウントと同じプライカウントを有することを判定し、前記次のパネルの最適化の間に利用するサブミネートの数を選択せず、前記次のパネルのためのプライカウントの範囲を計算しない、項 G 1 に記載の装置。

G 6

前記プライカウントが、繊維配向毎のプライの数を規定する、項 G 1 に記載の装置。

【 0 1 1 6 】

本発明の更なる一態様により、下記が提供される。

H 1

各々が複合部品の領域の断片を備える複数のパネルへ更に分割される、多層複合部品の繊維配向を最適化することにおいて使用される、サブミネートのライブラリを生成する方法 (2 0 0 0) であって、

各々が繊維配向のユニークなシーケンスを有する、連続的に積み重ねられた複数の層を備えた、サブミネートを生成すること (2 0 0 2) 、

如何にして繊維配向が並べられるかを制約する、積み重ねシーケンス規則との適合性について、前記サブミネートチェックすること (2 0 0 4) 、

前記積み重ねシーケンス規則に従わないサブミネートを除去すること (2 0 0 6) 、複数の繊維配向の各々に対して、

除去されなかったサブミネートを選択すること (2 0 1 2) と、

前記選択されたサブミネートに対して、前記繊維配向を有する層を付け加えることによって、新しいサブミネートを生成すること (2 0 1 6) とによって、各々が更なる層を含む複数の新しいサブミネートを生成すること (2 0 1 0) 、

層の最大数が到達されるまで、前記チェック、前記除去、及び前記生成を繰り返すこと (2 0 0 8) 、及び

前記サブミネートを、前記複合部品を設計するための利用可能なサブミネートとして、メモリ内に記憶すること (2 1 1 6) を含む、方法。

H 2

層の前記最大数が到達された後で、更なる積み重ねシーケンス規則との適合性について、未だ除去されなかった全てのサブミネートをチェックすること (2 1 0 6 、 2 1 0 8) 、及び

前記更なる積み重ねシーケンス規則に従わないサブミネートを除去すること (2 1 1 0) を更に含む、項 H 1 に記載の方法。

H 3

前記更なる積み重ねシーケンス規則が、第 1 の繊維配向のプライが第 2 の繊維配向と対にならなければならないことを示す、項 H 2 に記載の方法。

H 4

前記チェック、前記除去、及び前記生成を、繰り返すことが、整数ツリーを横断することによって再帰的に実行され、各サブミネートが、前記整数ツリー内にノードを備え、各サブミネートからのブランチの数が、繊維配向の数に相当する、項 H 1 に記載の方法。

H 5

前記積み重ねシーケンス規則が、繊維配向毎に、サブミネートのためのプライカウントの許容可能な範囲を規定する、項 H 1 に記載の方法。

H 6

前記積み重ねシーケンス規則が、同じ繊維配向の連続的なプライの許容可能な数を規定

10

20

30

40

50

する(1712)、項H1に記載の方法。

H7

前記積み重ねシーケンス規則が、許容されない繊維配向の連続的なシーケンスを規定する(1712)、項H1に記載の方法。

H8

前記積み重ねシーケンス規則に対する変更を検出すること、及び
前記変更を検出したことに応じて、サブミネートの新しいライブラリを生成することを更に含む、項H1に記載の方法。

【0117】

本発明の更なる一態様により、下記が提供される。

10

J1

プロセッサによって実行されたときに、各々が複合部品の領域の断片を備える複数のパネルへ更に分割される、多層複合部品の繊維配向を最適化することにおいて使用されるサブミネートのライブラリを生成する方法(2000)を実行するように動作可能な、プログラムされた指示命令を有する、非一時的コンピュータ可読媒体であって、前記方法が、

各々が繊維配向のユニークなシーケンスを有する、連続的に積み重ねられた複数の層を備えた、サブミネートを生成すること(2002)、

如何にして繊維配向が並べられるかを制約する、積み重ねシーケンス規則との適合性について、前記サブミネートチェックすること(2004)、

20

前記積み重ねシーケンス規則に従わないサブミネートを除去すること(2006)、複数の繊維配向の各々に対して、

除去されなかったサブミネートを選択すること(2012)と、

前記選択されたサブミネートに対して、前記繊維配向を有する層を付け加えることによって、新しいサブミネートを生成すること(2016)とによって、各々が更なる層を含む複数の新しいサブミネートを生成すること(2010)、

層の最大数が到達されるまで、前記チェック、前記除去、及び前記生成を繰り返すこと(2008)、及び

前記サブミネートを、前記複合部品を設計するための利用可能なサブミネートとして、メモリ内に記憶すること(2116)を含む、媒体。

30

J2

前記層の最大数が到達された後で、更なる積み重ねシーケンス規則との適合性について、未だ除去されなかった全てのサブミネートをチェックすること(2106、2108)、及び

前記更なる積み重ねシーケンス規則に従わないサブミネートを除去すること(2110)を更に含む、項J1に記載の媒体。

J3

前記更なる積み重ねシーケンス規則が、第1の繊維配向のプライが第2の繊維配向と対にならなければならないことを示す、項J2に記載の媒体。

J4

40

前記チェック、前記除去、及び前記生成を、繰り返すことが、整数ツリーを横断することによって再帰的に実行され、各サブミネートが、前記整数ツリー内にノードを備え、各サブミネートからのブランチの数が、繊維配向の数に相当する、項J1に記載の媒体。

J5

前記積み重ねシーケンス規則が、繊維配向毎に、サブミネートのためのプライカウントの許容可能な範囲を規定する、項J1に記載の媒体。

J6

前記積み重ねシーケンス規則が、同じ繊維配向の連続的なプライの許容可能な数を規定する(1712)、項J1に記載の媒体。

50

J 7

前記積み重ねシーケンス規則が、許容されない繊維配向の連続的なシーケンスを規定する(1712)、項J1に記載の媒体。

J 8

前記積み重ねシーケンス規則に対する変更を検出すること、及び前記変更を検出したことに応じて、サブミネートの新しいライブラリを生成することを更に含む、項J1に記載の媒体。

【0118】

本発明の更なる一態様により、下記が提供される。

K 1

如何にして繊維配向が並べられるかを制約する、積み重ねシーケンス規則(1712)を記憶するメモリ(116)、及び

各々が繊維配向のユニークなシーケンスを有する、連続的に積み重ねられた複数の層を備える、サブミネート(2210)を生成することと、積み重ねシーケンス規則との適合性についてサブミネートをチェックすることと、前記積み重ねシーケンス規則に従わないサブミネートを除去することとによって、各々が前記複合部品の領域の断片を備えた複数のパネル(310)へ更に分割された多層複合部品(150)の繊維配向を最適化することにおいて使用されるサブミネートのライブラリを生成する、コントローラ(112)を備え、

前記コントローラが、複数の繊維配向の各々に対して、除去されなかったサブミネートを選択することと、前記繊維配向を有する層を前記選択されたサブミネートに付け加えることによって新しいサブミネートを生成することとによって、各々が更なる層を含む複数の新しいサブミネート(2230~2250)を生成し、

前記コントローラが、層の最大数が到達されるまで、前記チェック、前記除去、及び前記生成を繰り返し、前記複合部品を設計するために利用可能なサブミネートのライブラリとして、前記サブミネートを前記メモリ内に記憶する、装置。

K 2

前記層の最大数が到達された後で、前記プロセッサが、更なる積み重ねシーケンス規則との適合性について、未だ除去されなかった全てのサブミネートを更にチェックし、前記更なる積み重ねシーケンス規則に従わないサブミネートを除去する、項K1に記載の装置。

K 3

前記更なる積み重ねシーケンス規則が、第1の繊維配向のプライが第2の繊維配向と対にならなければならないことを示す、項K2に記載の装置。

K 4

前記コントローラが、整数ツリーを横断することによって、前記チェック、前記除去、及び前記生成を、再帰的に繰り返し、各サブミネートが、前記整数ツリー内にノードを備え、各サブミネートからのブランチの数が、繊維配向の数に相当する、項K1に記載の装置。

K 5

前記積み重ねシーケンス規則が、繊維配向毎に、サブミネートのためのプライカウントの許容可能な範囲を規定する、項K1に記載の装置。

K 6

前記積み重ねシーケンス規則が、同じ繊維配向の連続的なプライの許容可能な数を規定する(1712)、項K1に記載の装置。

K 7

前記積み重ねシーケンス規則が、許容されない繊維配向の連続的なシーケンスを規定する(1712)、項K1に記載の装置。

K 8

前記コントローラが、前記積み重ねシーケンス規則に対する変更を検出し、前記変更を

10

20

30

40

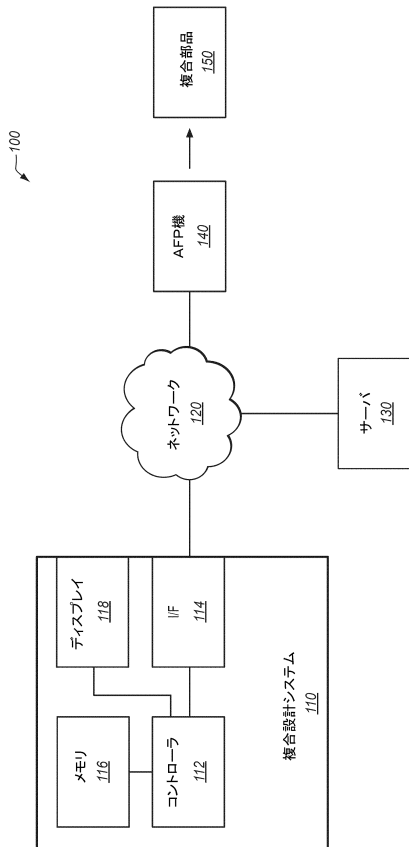
50

検出したことに応じて、サブミネートの新しいライブラリを生成する、項 K 1 に記載の装置。

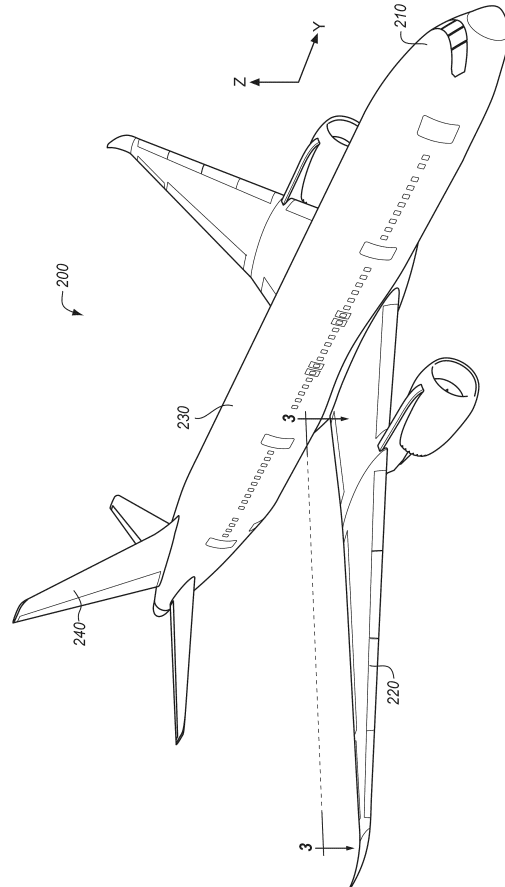
【 0 1 1 9 】

具体的な実施形態が本明細書に記載されたが、本開示の範囲はそれらの具体的な実施形態によって限定されるものでない。本開示の範囲は、下記の特許請求の範囲及びその均等物によって規定されるものである。

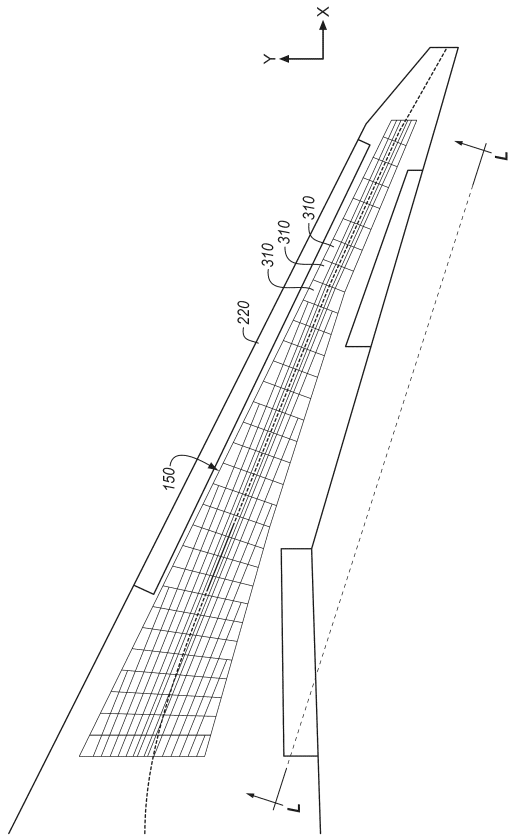
【 図 1 】



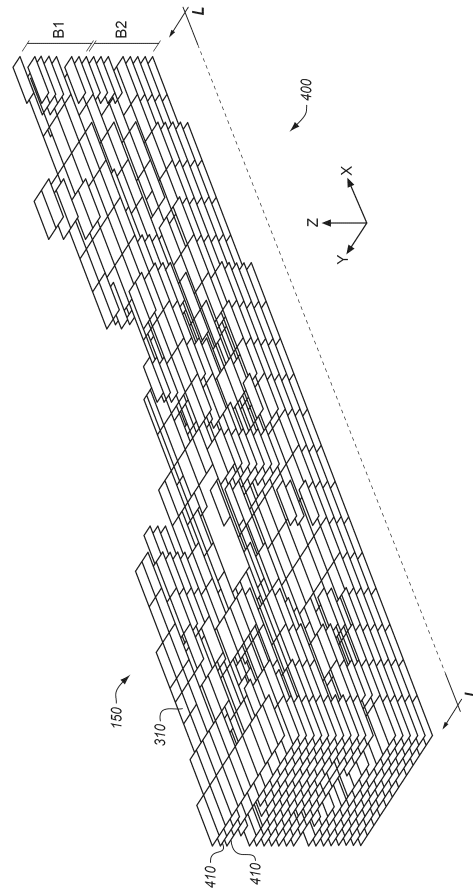
【 図 2 】



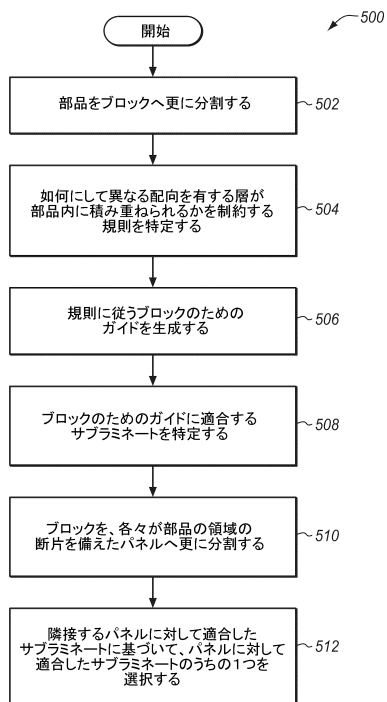
【図3】



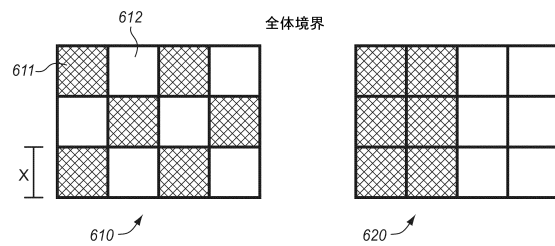
【図4】



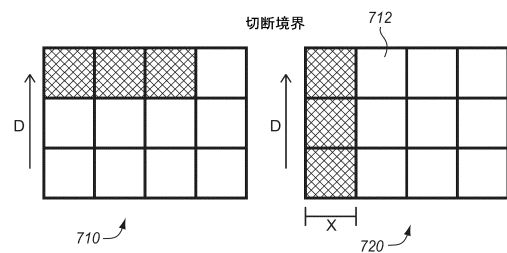
【図5】



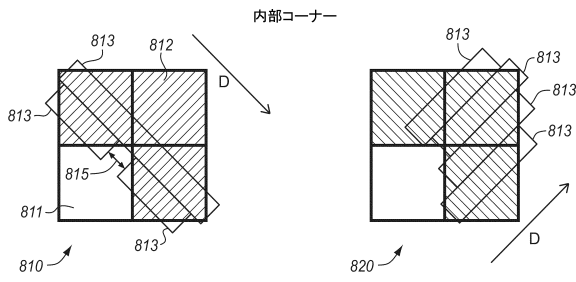
【図6】



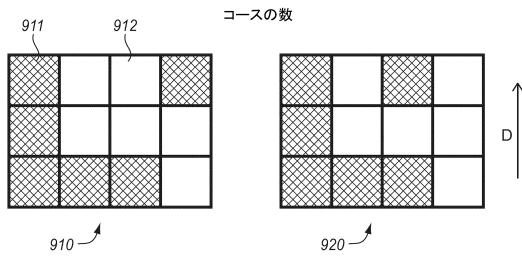
【図7】



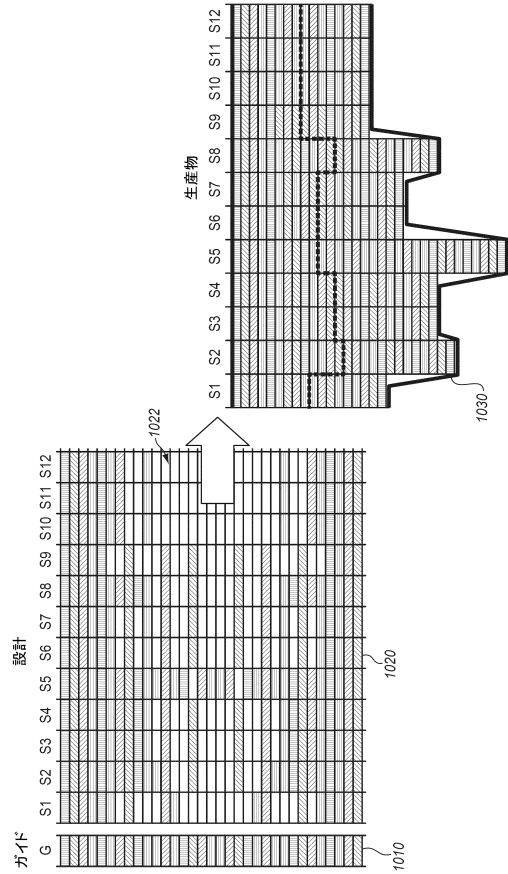
【図 8】



【図 9】



【図 10】

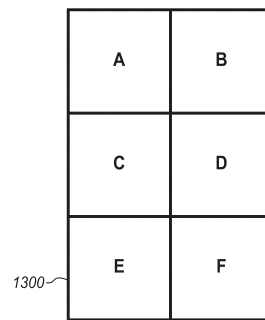


【図 11】

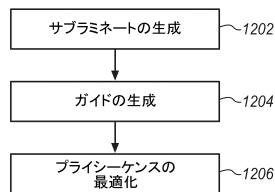
↙ 1100

ブロックガイド	サブ1	サブ2	サブ3	サブ4	サブ5
層 1	45	45		45	45
層 2	90	90		90	90
層 3	-45	-45		-45	
層 4	0	0	-45		
層 5	45	45	0	45	
層 6	90	90	0	90	
層 7	-45	-45	-45		-45
層 8	0	0	0	0	0

【図 13】



【図 12】

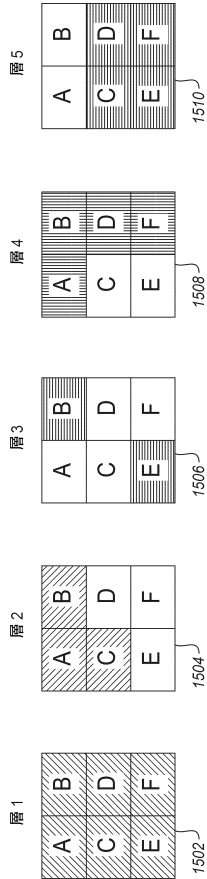


【図 14】

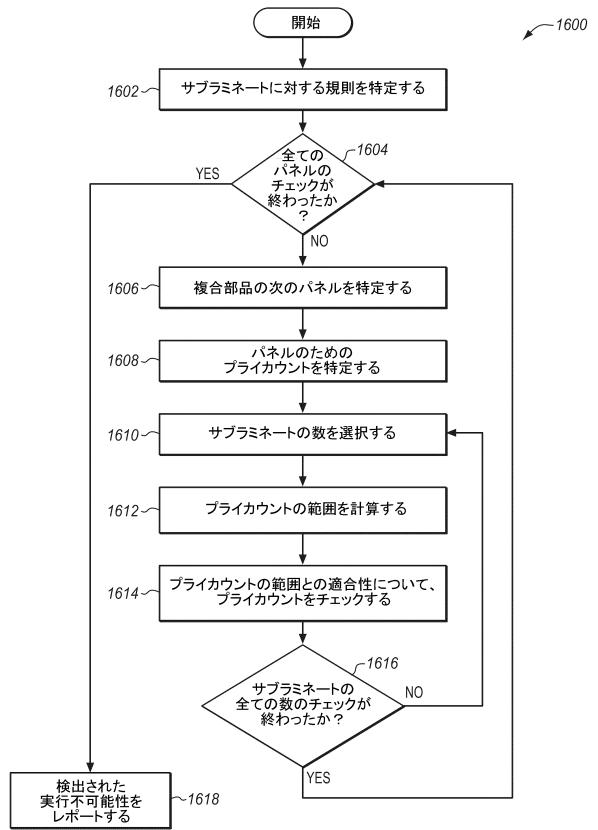
繊維の 角度	層	パネル					
		A	B	C	D	E	F
45	1	1	1	1	1	1	1
-45	2	1	1	1	0	0	0
0	3	0	1	0	0	1	0
90	4	1	1	0	1	0	1
0	5	0	0	1	1	1	1

1400

【図15】



【図16】

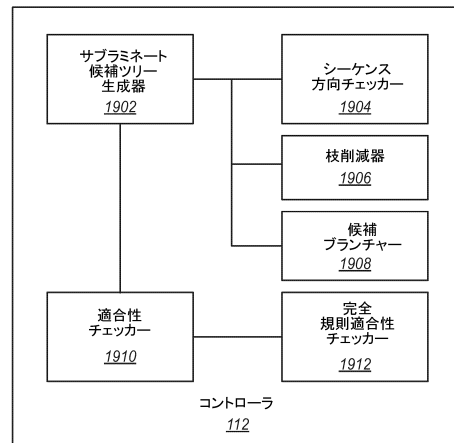


【図17】

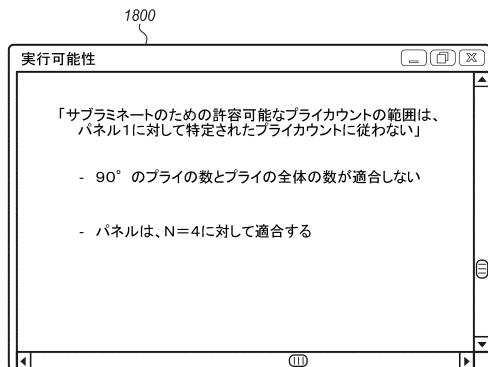
N=3, パネル1

方向	0°	+45°	-45°	90°	合計
一定の表面のプライ	2	2	2	2	8
サブミネート 最小	1	0	0	0	4
規則のための最小	2	1	1	0	N/A
サブミネート 最大	3	3	3	2	10
サブミネートの範囲	1-3	1-3	1-3	0-2	4-10
利用可能な範囲	5-11	5-11	5-11	2-8	20-38
パネルプライカントREQ`MT	10	10	10	10	40
適合性?	YES	YES	YES	NO	NO

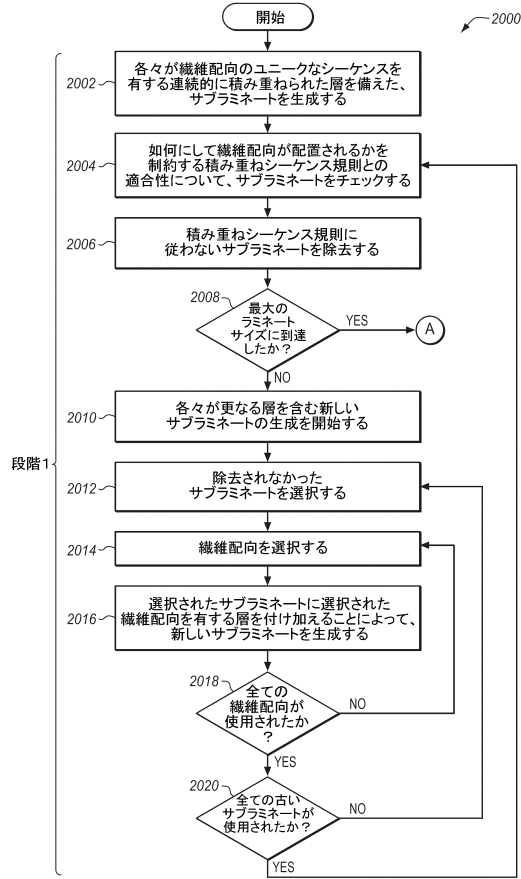
【図19】



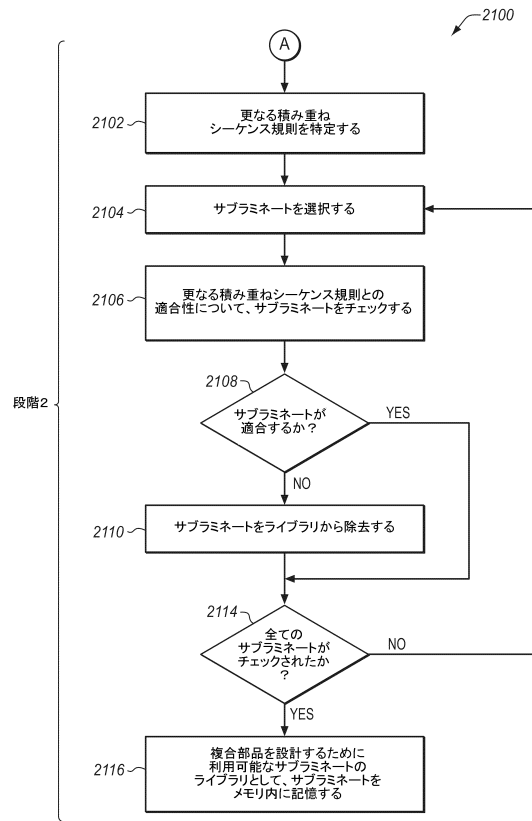
【図18】



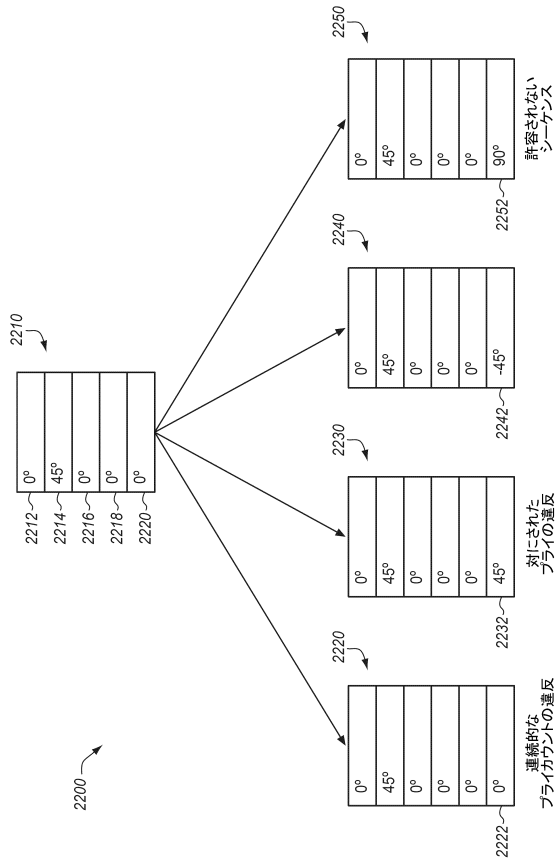
【図20】



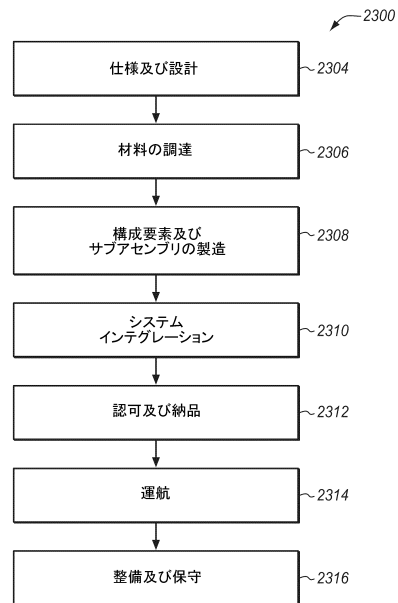
【図21】



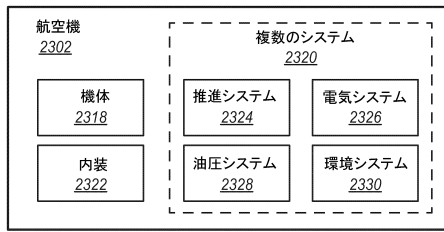
【図22】



【図23】



【 図 2 4 】



フロントページの続き

(31)優先権主張番号 15/399,187

(32)優先日 平成29年1月5日(2017.1.5)

(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(72)発明者 ブローム, アドリアナ ウィレムピエ
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

(72)発明者 トンプソン, リチャード ジョエル
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 田代 吉成

(56)参考文献 特表2011-518700(JP,A)

特開2013-173352(JP,A)

特開2011-240925(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B29C 70/38

B29C 70/06

B64C 1/00

B64C 1/12

B29K 105/08