

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5346151号  
(P5346151)

(45) 発行日 平成25年11月20日(2013.11.20)

(24) 登録日 平成25年8月23日(2013.8.23)

(51) Int.Cl.

F I

G O 5 B 19/4097 (2006.01)

G O 5 B 19/4097

C

請求項の数 16 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2006-346309 (P2006-346309)	(73) 特許権者	500520743
(22) 出願日	平成18年12月22日(2006.12.22)		ザ・ボーイング・カンパニー
(65) 公開番号	特開2007-172631 (P2007-172631A)		The Boeing Company
(43) 公開日	平成19年7月5日(2007.7.5)		アメリカ合衆国、60606-1596
審査請求日	平成21年6月26日(2009.6.26)		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	11/315, 103	(74) 代理人	100109726
(32) 優先日	平成17年12月23日(2005.12.23)		弁理士 園田 吉隆
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100101199
			弁理士 小林 義教
		(72) 発明者	ウェイパイ・タン
			アメリカ合衆国、98053 ワシントン州、レッドモンド、エヌ・イー・トゥウェンティファイフス・ストリート、25814

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 1組のヘッドを有するマルチヘッド複合材料貼付け機械についてのヘッド割当をモデリングするための方法、システム、および、コンピュータ可読媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

単一のツールキャリッジに取付けられ、製造ツールの表面上に複合材料を貼付ける1組のヘッドを有するマルチヘッド複合材料貼付け機械のヘッド割当をモデリングする方法を実行するための1組の命令を含むコンピュータソフトウェアが組込まれたコンピュータ可読媒体であって、前記方法は、

プライの形状のデータファイルを受取るステップと、

前記マルチヘッド複合材料貼付け機械に含まれる前記ヘッド及び前記ツールキャリッジの構成のデータファイルを受取るステップと、

前記プライの形状、及び、前記ヘッド及び前記ツールキャリッジの前記構成に<sup>10</sup> 応答して、前記複合材料が効率的に貼付けられるように、所定の座標系に対する前記ヘッドの配置を生成するステップと、

前記マルチヘッド複合材料貼付け機械によって形成される複合部品又は前記製造ツールの表面定義が含まれるターゲットツールファイルを受取ることに<sup>10</sup> 応答して、前記プライが被覆されるように、前記所定の座標系に対する複合材料の貼付け経路、及び、前記複合部品又は前記製造ツールの表面モデルを生成するステップと、

前記貼付け経路、前記表面モデル、及び、前記配置を受取ったことに<sup>10</sup> 応答して、前記機械の効率及び敷設速度の一方又は両方を最大にするように、各ヘッドを前記貼付け経路に割り当てるステップと、

前記各ヘッドの前記貼付け経路への割当に応じて、機械軸の解を決定するステップと、

10

20

前記機械軸の解の情報を利用して、前記貼付け経路に沿って前記複合材料が貼付けられるように、前記ツールキャリッジの運動、及び、前記ツールキャリッジを基準とした個々のヘッドの運動を制御するステップと、

前記運動を制御するステップの結果得られる個々のヘッド位置に 応答して、前記複合部品に複合材料を貼付ける前記マルチヘッド複合材料貼付け機械のグラフィカルモデルを生成するステップとを含む、コンピュータ可読媒体。

【請求項 2】

前記制御するステップは、

前記ヘッドが前記複合部品又は前記機械の表面に接近、又は、前記表面から離れるために、前記機械軸の運動を制御することを含む、

請求項 1 に記載の媒体。

10

【請求項 3】

前記各ヘッドを前記貼付け経路に割り当てるステップは、前記貼付け経路、前記表面モデル、及び、前記配置を受取ったことに 応答して、前記表面モデルに沿った前記マルチヘッド複合材料貼付け機械の各パスについての、ヘッド位置の対応する配置を含む配置のパスのシーケンスを生成するステップをさらに含み、

前記方法は、前記配置のパスのシーケンスに 応答して、1 組のヘッド事象を生成するステップをさらに含み、

前記 1 組のヘッド事象は、前記 1 組のヘッドについての運動命令及び貼付けのためにヘッドが行う作業の内容についての情報を含み、前記貼付け経路に沿って前記複合材料が貼付けられるように生成される、請求項 1 又は請求項 2 に記載の媒体。

20

【請求項 4】

前記 1 組のヘッド事象を受取ることに応答して、性能予測報告を生成するステップをさらに含み、請求項 3 に記載の媒体。

【請求項 5】

前記 1 組のヘッド事象を受取ることに応答して、前記表面モデルに前記複合材料を貼付ける前記マルチヘッド複合材料貼付け機械のビデオを生成するステップをさらに含み、請求項 3 に記載の媒体。

【請求項 6】

単一のツールキャリッジに取付けられ、製造ツールの表面上に複合材料を貼付ける 1 組のヘッドを有するマルチヘッド複合材料貼付け機械のヘッド割当をモデリングするためのシステムであって、

30

プライの形状のデータファイルと、前記マルチヘッド複合材料貼付け機械に含まれる前記ヘッド及び前記ツールキャリッジの構成のデータファイルとを受取ること に応答して、前記複合材料を効率的に貼付けることができるように、所定の座標系に対する前記ヘッドの配置を生成するためのヘッド配置生成器と、

前記マルチヘッド複合材料貼付け機械によって形成される複合部品又は前記製造ツールの表面定義が含まれるターゲットツールファイルを受取ること に応答して、前記プライが被覆されるように、前記所定の座標系に対する複合材料の貼付け経路、及び、前記複合部品又は前記製造ツールの表面モデルを生成する経路生成器と、

40

前記貼付け経路、前記表面モデル、及び、前記配置を受取ったことに 応答して、前記機械の効率及び敷設速度の一方又は両方を最大にするように、各ヘッドを前記貼付け経路に割り当てるコースヘッド管理プログラムと、

前記各ヘッドの前記貼付け経路への割当に応じて、機械軸の解を決定して、前記機械軸の解の情報を利用して、前記貼付け経路に沿って前記複合材料が貼付けられるように、前記ツールキャリッジの運動、及び、前記ツールキャリッジを基準とした個々のヘッドの運動を制御するポストプロセッサと、

前記運動を制御するステップの結果得られる個々のヘッド位置を受取ることに応答して、前記複合部品に前記複合材料を貼付ける前記マルチヘッド複合材料貼付け機械のグラフィカルモデルを生成するためのヘッド配置視覚化装置とを備える、システム。

50

## 【請求項 7】

前記ポストプロセッサは、  
前記ヘッドが前記複合部品又は前記機械の表面に接近するため、又は、前記ヘッドが前記表面から離れるための前記機械軸の運動を制御する、  
請求項 6 に記載のシステム。

## 【請求項 8】

前記システムの 1 組の構成要素からデータを受取り、前記 1 組の構成要素にデータを転送するためのデータ管理プログラムをさらに備える、請求項 6 又は請求項 7 に記載のシステム。

## 【請求項 9】

前記コースヘッド管理プログラムは、前記貼付け経路、前記表面モデル、及び、前記配置を受取ったことに応答して、前記表面モデルに沿った前記マルチヘッド複合材料貼付け機械の各パスについての、ヘッド位置の対応する配置を含む配置のパスのシーケンスを生成し、

前記システムは、前記配置のパスのシーケンスに 応答して、1 組のヘッド事象を生成するための事象管理プログラムをさらに備え、前記 1 組のヘッド事象は、前記 1 組のヘッドに対する運動命令及び貼付けのためにヘッドが行う作業の内容についての情報を含み、前記貼付け経路に沿って前記複合材料が貼付けられるように生成される、 請求項 6 又は請求項 7 に記載のシステム。

## 【請求項 10】

前記事象管理プログラムは、前記 1 組のヘッド事象を受取ることに応答して、性能予測報告を生成するようにさらに構成される、請求項 9 に記載のシステム。

## 【請求項 11】

前記ヘッド配置視覚化装置は、前記 1 組のヘッド事象を受取ることに応答して、前記表面モデルに前記複合材料を貼付ける前記マルチヘッド複合材料貼付け機械のビデオを生成するようにさらに構成される、 請求項 9 に記載のシステム。

## 【請求項 12】

単一のツールキャリッジに取付けられ、製造ツールの表面上に複合材料を貼付ける 1 組のヘッドを有するマルチヘッド複合材料貼付け機械のヘッド割当をモデリングする方法であって、

プライの形状のデータファイルを受取るステップと、  
前記マルチヘッド複合材料貼付け機械に含まれる前記ヘッド及び前記ツールキャリッジの構成のデータファイルを受取るステップと、

前記プライの形状、及び、前記ヘッド及び前記ツールキャリッジの前記構成に 応答して、前記複合材料を効率的に貼付けることができるように、所定の座標系に対する前記ヘッドの配置を生成するステップと、

前記マルチヘッド複合材料貼付け機械によって形成される複合部品又は前記製造ツールの表面定義が含まれるターゲットツールファイルを受取ることに 応答して、前記プライが被覆されるように、前記所定の座標系に対する複合材料の貼付け経路、及び、前記複合部品又は前記製造ツールの表面モデルを生成するステップと、

前記貼付け経路、前記表面モデル、及び、前記配置を受取ったことに 応答して、前記機械の効率及び敷設速度の一方又は両方を最大にするように、各ヘッドを前記貼付け経路に割り当てるステップと、

前記各ヘッドの前記貼付け経路への割当に応じて、機械軸の解を決定するステップと、  
前記機械軸の解の情報を利用して、前記貼付け経路に沿って前記複合材料が貼付けられるように、前記ツールキャリッジの運動、及び、前記ツールキャリッジを基準とした個々のヘッドの運動を制御するステップと、

前記運動を制御するステップの結果得られる個々のヘッド位置に 応答して、前記複合部品に前記複合材料を貼付ける前記マルチヘッド複合材料貼付け機械のグラフィカルモデルを生成するステップとを含む、方法。

10

20

30

40

50

## 【請求項 1 3】

前記制御するステップは、

前記ヘッドが前記複合部品又は前記機械の表面に接近するため、又は、前記ヘッドが前記表面から離れるための前記機械軸の運動を制御することを含む、

請求項 1 2 に記載の方法。

## 【請求項 1 4】

前記各ヘッドを前記貼付け経路に割り当てるステップは、前記貼付け経路、前記表面モデル、及び、前記配置を受取ったことに応答して、前記表面モデルに沿った前記マルチヘッド複合材料貼付け機械の各パスについての、ヘッド位置の対応する配置を含む配置のパスのシーケンスを生成するステップを含み、

10

前記方法は、前記配置のパスのシーケンスに応答して、1組のヘッド事象を生成するステップをさらに含み、

前記1組のヘッド事象は、前記1組のヘッドについての運動命令及び貼付けのためにヘッドが行う作業の内容についての情報を含み、前記貼付け経路に沿って前記複合材料が貼付けられるように生成される、請求項 1 2 又は請求項 1 3 に記載の方法。

## 【請求項 1 5】

前記1組のヘッド事象を受取ることに応答して、性能予測報告を生成するステップをさらに含む、請求項 1 4 に記載の方法。

## 【請求項 1 6】

前記1組のヘッド事象を受取ることに応答して、前記表面モデルに前記複合材料を貼付ける前記マルチヘッド複合材料貼付け機械のビデオを生成するステップをさらに含む、請求項 1 4 に記載の方法。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

発明の分野

この発明は概して、テープおよびファイバ配設システムに関する。より詳細には、この発明は、コンピュータ数値制御複合テーブラミネーションおよびファイバ配設装置でのヘッド割当のモデリングおよびシミュレーションの方法に関する。

## 【背景技術】

30

## 【0002】

発明の背景

自動車産業、海洋産業および航空機産業を含むさまざまな産業において複合材料がますます使用されるようになってきている。場合によっては複合部品は、複合テーブラミネーション機械または複合ファイバ配設機械などの自動複合材料貼付け機械を使用して形成されることができる。

## 【0003】

いくつかの従来の複合材料貼付け機械、たとえば平坦なテーブラミネーション機械（FTLM）または起伏のあるテーブラミネーション機械（CTLM）は、マンドレルなどの概して水平または垂直なツーリング表面上に複合テープの比較的幅の広いストリップを敷設することによって、平坦なまたはなだらかに起伏のある複合部品を製造する。他の従来の複合材料貼付け機械、たとえば自動ファイバ配設（AFP）機械は、マンドレルなどの回転する製造ツールに複合テープまたはトウの比較的狭いストリップを巻付けることによって、概して円筒形または管状の複合部品を製造するために使用される。

40

## 【0004】

概して、既存の自動複合材料貼付け機械は、単一の複合材料貼付けヘッドを有する。対応して、既存の複合材料貼付け機械プログラミングシステムは概して、単一の複合材料貼付けヘッドを有する単一の複合材料貼付け機械を制御するように設計された数値制御（NC）またはコンピュータ数値制御（CNC）プログラムを作り出すことができる。

## 【0005】

50

航空機の胴体セクションを含む比較的大型の複合部品をより効率的に製造するために、高速のマルチヘッド複合材料貼付け機械が考案されてきた。考案されるごとく、マルチヘッド複合材料貼付け機械は、平坦な桁、ストリンガーの充電器、翼の外板および胴体の胴セクションなどの幅広いさまざまな複合部品、ならびに自動車、海上船舶、産業用乗物などの他の産業および組立式建築構造産業における複合部品を製造できるはずである。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、既存の複合部品プログラミングシステムは、さまざまな複合部品を形成するために複数の複合材料貼付けヘッドを有する複合材料貼付け機械を効率的にプログラムする容量 (capacity) を持たない。したがって、過度の手動プログラミングを必要とすることなくさまざまな複合部品を形成するために、複数の複合材料貼付けヘッドを有する高速の複合材料貼付け機械のための複合部品プログラムを効率的に作り出すことができる方法および装備を提供することが望ましい。

10

【課題を解決するための手段】

【0007】

発明の概要

上述の必要性はこの発明によって大いに満たされ、1つの点では、1組のヘッドを有するマルチヘッド複合材料貼付け機械についてのヘッド割当の視覚モデルが提供される。

【0008】

20

この発明の実施例は、1組のヘッドを有するマルチヘッド複合材料貼付け機械についてのヘッド割当をモデリングする方法を実行するための1組の命令を含むコンピュータソフトウェアが組込まれたコンピュータ可読媒体に関する。この方法では、複合部品についてのプライの形状が受取られ、マルチヘッド複合材料貼付け機械についての構成が受取られる。さらに、プライの形状およびマルチヘッド複合材料貼付け機械についての構成に回答して、ヘッド位置の配置が生成される。さらに、ヘッド位置の配置の中のヘッド位置が、1組のヘッドの対応するヘッドに割当てられ、複合部品上に複合材料を貼付けるマルチヘッド複合材料貼付け機械のグラフィカルモデルが、割当てられたヘッド位置に回答して生成される。

【0009】

30

この発明の別の実施例は、1組のヘッドを有するマルチヘッド複合材料貼付け機械のヘッド割当をモデリングするためのシステムに関する。このシステムは、ヘッド配置生成器、ヘッド割当管理プログラムおよびヘッド配置視覚化装置を含む。ヘッド配置生成器は、プライの形状およびマルチヘッド複合材料貼付け機械についての構成を受取ることに回答して、ヘッド位置の配置を生成する。ヘッド割当管理プログラムは、ヘッド位置の配置の中のヘッド位置を1組のヘッドの対応するヘッドに割当てて、ヘッド配置視覚化装置は、割当てられたヘッド位置を受取ることに回答して、複合部品上に複合材料を貼付けるマルチヘッド複合材料貼付け機械のグラフィカルモデルを生成する。

【0010】

この発明のさらに別の実施例は、1組のヘッドを有するマルチヘッド複合材料貼付け機械についてのヘッド割当をモデリングする方法に関する。この方法では、複合部品についてのプライの形状が受取られ、マルチヘッド複合材料貼付け機械についての構成が受取られる。さらに、プライの形状およびマルチヘッド複合材料貼付け機械についての構成に回答して、ヘッド位置の配置が生成される。さらに、ヘッド位置の配置の中のヘッド位置が、1組のヘッドの対応するヘッドに割当てられ、複合部品上に複合材料を貼付けるマルチヘッド複合材料貼付け機械のグラフィカルモデルが、割当てられたヘッド位置に回答して生成される。

40

【0011】

このように、この発明の詳細な説明が本明細書においてよりよく理解されるように、および当該技術分野へのこの寄与がよりよく認識されるように、この発明の特定の実施例を

50

大まかに概説してきた。もちろん、以下に記載され、特許請求の範囲の主題を形成するこの発明のさらなる実施例が存在する。

【0012】

この点で、この発明の少なくとも1つの実施例を詳細に説明する前に、この発明は本願において、以下の説明に記載されるまたは図面に示される構成の詳細および構成要素の配列に限定されるものではないことが理解されるべきである。この発明は、記載される実施例に加えた実施例が可能であり、さまざまな方法で実施および実行されることが可能である。さらに、本明細書および要約書において利用される専門語ならびに述語は説明の目的であり、限定的なものとして考えられるべきではないことが理解されるべきである。

【0013】

したがって、この開示が基づく概念はこの発明のいくつかの目的を実行するための他の構造、方法およびシステムの設計のための基礎として容易に利用され得ることを当業者は認識する。したがって、特許請求の範囲は、この発明の精神および範囲から逸脱しない限り、このような等価の構成を含むように考えられることが重要である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

詳細な説明

この発明に従う実施例は、コンピュータ支援設計(CAD)システムインターフェイス、経路生成器、コースヘッド管理プログラム、ポストプロセッサおよび機械シミュレータを含み得る複合部品プログラム生成器を提供する。複合部品プログラム生成器は、比較的平坦な複合部品、起伏のある複合部品または概して円筒形の複合部品を含む幅広いさまざまな大型で複雑な複合部品のための複合部品プログラムを作り出すことができる。このプログラミング方法は、手動または既存の自動プログラミング方法に対して、マルチヘッド複合材料貼付け機械のための複合部品プログラムを作り出すのに必要な労力を1桁だけ低減できる。

【0015】

複合部品プログラム生成器は、たとえば、既存の複合テープ敷設機械および自動ファイバ配設機械などの、単一の複合材料貼付けヘッドを有するコンピュータ数値制御(CNC)複合材料貼付け機械とともに使用する複合部品プログラムを作り出すことができる。さらに、複合部品プログラム生成器は、マルチヘッドCNC複合材料貼付け機械およびマルチ機械複合製造機器とともに使用する複合部品プログラムを作り出すことができる。

【0016】

CADインターフェイスは、CADシステムから複合部品設計定義を受取ることができ、データを製造ツール表面定義および複数の複合プライ定義に変換できる。経路生成器は、製造ツール表面定義および複数の複合プライ定義に基づいて、機械に依存しない複合材料貼付け経路を作り出すことができる。さらに、コースヘッド管理プログラムは、機械に固有の経路を作り出すために、特定のタイプの複合材料貼付け機械の特定の複合材料貼付けヘッドに、機械に依存しない経路を割当てることができる。

【0017】

さらに、ポストプロセッサは、製造ツールルートを定義でき、機械軸の位置を計算でき、複合材料貼付け機械を制御しかつ経路に沿って複合材料貼付けヘッドを誘導するために使用され得る複合部品プログラムを構成することができる。さらに、機械シミュレータは、複合部品プログラムの正しい機能を検証するために、特定のタイプの複合材料貼付け機械および関連付けられるコントローラをシミュレートすることができる。したがって、複合部品プログラム生成器は、プログラマーが衝突などの複合材料貼付けヘッドまたは機械の矛盾を回避するのを助けることができる。

【0018】

複合部品プログラム生成器は、複合材料貼付けヘッドまたは機械の、複合材料貼付け経路およびプライのシーケンスへのスループット効率のよい割当てを促進できる。さらに、複合部品プログラム生成器は、ある既存のCNCコントローラの最大補間グループの大きさ

10

20

30

40

50

によって可能になる数よりも大きな数の機械軸を制御するために複合部品プログラムを作り出すことができる。たとえば、いくつかの既存の複合プログラミング方法は、1つの複合材料アプリケーションまたは送出ヘッドに限定されるが、本明細書に開示される方法は、一般的な可動ツールキャリッジおよび対応する回転する製造ツール上に最大50までの機械軸を有する4つのヘッドおよび8つのヘッドの構成上で実証されてきた。さらに、この方法は、少なくとも16の送出ヘッドを有する機械または少なくとも16の単一ヘッド機械を有するシステムとともに使用するために尺度決めされることができる。

**【0019】**

この発明は以下に図面を参照しながら説明され、図面中では、全体にわたって同様の参照数字は同様の部品を指す。この発明に従う実施例は、単一ヘッドまたはマルチヘッドCNC複合材料貼付け機械を制御できる複合部品プログラムを作り出すための複合部品プログラム生成器10を提供する。図1は複合部品プログラム生成器10の代表的な実施例の実施例を図示し、この複合部品プログラム生成器10は、プロセッサ12、メモリ14、CADインターフェイス16、経路生成器18、コースヘッド管理プログラム20、ポストプロセッサ22、速度シミュレータ23、機械シミュレータ24および入力/出力(I/O)装置26を含み、これらすべてはデータリンク27によって相互接続される。

10

**【0020】**

プロセッサ12、メモリ14および入力/出力装置26は、パーソナルコンピュータ(PC)、UNIX(登録商標)ワークステーション、サーバ、メインフレームコンピュータ、パーソナルデジタルアシスタント(PDA)またはこれらのいくつかの組合せなどの一般的なコンピュータの一部であり得る。残りの構成要素は、複合部品プログラム生成器10の所望の機能を実行するために、メモリ14にロードされることができかつプロセッサ12によって処理されることができる、コンピュータ可読媒体に格納されたソースコード、オブジェクトコードまたは実行可能なコードなどのプログラミングコードを含み得る。

20

**【0021】**

CADインターフェイス16は、カリフォルニア州サンラフェル(San Rafael)のオートデスク・インコーポレイテッド(Autodesk, Inc.)によって製造されるオートCAD(AutoCAD)、マサチューセッツ州ニーダム(Needham)のパラメトリック・テクノロジー・コーポレーション(Parametric Technology Corp.)によって製造されるプロ/エンジニア(Pro/Engineer)、ペンシルバニア州エクストン(Exton)のベントレー・システムズ(Bentley Systems)によって製造されるマイクロステーション(Microstation)、マサチューセッツ州コンコード(Concord)のソリッドワークス・コーポレーション(SolidWorks Corp.)によって製造されるソリッドワークス(SolidWorks)、またはフランスのシュレーヌ(Suresnes)のダッソー・システムズS.A.(Dassault Systemes S.A.)によって製造されるCATIAなどのCADシステムから複合部品定義を受取ることができる。複合部品定義は、(オートCADによって使用される).dwgまたは.dxfファイルフォーマットおよび(マイクロステーションによって使用される).dgnファイルフォーマットなどのベクトルグラフィックスフォーマット、幾何学的トポロジー境界に基づく(CATIA V4によって使用される)B-REPファイルフォーマットなどの境界表現フォーマット、または(CATIA V5によって使用される)パラメトリックソリッド/表面フィーチャに基づくフォーマットを含む任意の好適なデータファイルフォーマットで受取られることができる。

30

40

**【0022】**

複合部品定義は、プライを含むシーケンスで構成されることができる。シーケンスとは概して複合部品を形成する複合材料の層を表わし、プライとは概して複合材料の層の領域を表わす。たとえば、CADデータフォーマットでは、各々のプライは、関連付けられる材料および向きの特性で、複雑な表面上の境界としてモデリングされることができる。

**【0023】**

CADインターフェイス16は、特定のCADシステムに一意であり得る受取られた複

50

合部品定義データフォーマットを、経路生成器 18 と互換性があるフォーマットに変換できる。たとえば、CAD インターフェイス 16 は 2 つのデータファイルを作成できる。第 1 のファイルは複合部品、または上に複合部品が形成されるマンドレルなどの製造ツールの完全な表面定義を含み得る。この第 1 のファイルは、たとえば B スプラインフォーマットで複合部品の各々の表面領域を定義するデータを含み得る。第 1 のファイルは、各々の表面領域ごとに境界曲線も定義し得る。さらに、第 1 のファイルは各々の構成要素の表面領域ごとに境界曲線間のさまざまな関係を含むことができ、さまざまな表面領域がいかに組み合わせられるかを記載する。

#### 【 0 0 2 4 】

第 2 のファイルは、複合部品を形成するさまざまなプライについてのプライ定義を含み得る。プライ定義は、たとえばプライ境界データ、プライ材料データおよびプライ向きデータを含み得る。さらに、各々のプライは「シードポイント」、つまり、そのプライのための第 1 の複合材料セグメントの中心線が通らなければならない位置を定義する、プライに関連付けられたポイントを指定できる。

#### 【 0 0 2 5 】

複合部品表面定義およびプライ定義に基づいて、複合部品プログラム生成器 10 は、複合部品を形成するために製造ツール表面上または以前のプライ表面上に複合材料を貼付けるように複合材料貼付けヘッドが辿ることのできる経路を生成することが可能である。たとえば、図 2 は大型で概して円筒形の複合部品のための製造ツール 28 またはマンドレルを図示し、8 つの代表的な複合材料貼付け経路 30 が製造ツール 28 の表面を横切って概して水平方向に示される。

#### 【 0 0 2 6 】

図 2 はさらに、第 1 のプライ境界 32 および第 2 のプライ境界 34 を図示する。複合材料貼付け経路 30 に対応する、この場合にはテープコース 36 である 8 つの連続した複合材料セグメントが、第 1 のプライ境界 32 内に描かれる。同様に、7 つの連続した複合テープコース 38 が、非標準テープコース 40 を含む第 2 のプライ境界 34 内に描かれ、この非標準テープコース 40 は、実質的には経路 30 の隣接する対の各々の間の距離未満である幅、または公称複合テープ幅を有する。

#### 【 0 0 2 7 】

一例として、複合テープ敷設機械は、ツールキャリッジに取付けられかつ 3 インチ、6 インチの標準もしくは公称幅、または他の好適な幅を有する複合テープを貼付けるように構成される 1 つ以上の複合材料貼付けヘッドを有してもよい。複合テープ敷設機械はさらに、非標準幅を有する複合テープのストリップまたは複数のストリップを貼付ける複合材料貼付けヘッドを含んでもよい。たとえば、代表的なマルチヘッド複合テープ敷設機械は、複合テープの公称 3 インチ幅のストリップを貼付ける 1 つ以上の標準的なヘッド、および 8 分の 1 インチもしくは 4 分の 1 インチ幅のストリップまたは「トウ」などの非標準幅の複合テープのストリップを貼付ける 1 つ以上の専用のヘッドを含んでもよい。さらに、専用のヘッドは、公称テープ幅に等しい総幅まで、たとえば 24 1/8 インチの複合テープトウまでの複数の非標準ストリップを、3 インチの標準公称テープ幅を有する機械上に貼付ける容量を有してもよい。

#### 【 0 0 2 8 】

図 2 に示される複合材料貼付け経路 30 およびテープコース 36、38 は製造ツール 28 の軸に対して概して水平または平行（参考のために、この例では 0 度のファイバの向き）であるが、複合部品の設計要件を満たすために追加のプライは 90 度もしくは 45 度または任意の好適なファイバの向きなどの他のファイバの向きを有してもよい。さらに、隣接する複合材料セグメント間の間隙または重複の大きさに関する制限を設定するために規格が確立される。

#### 【 0 0 2 9 】

図 1 を再び参照して、複合材料貼付け経路 30 は経路生成器 18 によって定義されることができ、複合部品プログラム生成器 10 の 1 つの実施例では、経路生成器 18 はたと

10

20

30

40

50

えば概して平坦なまたは起伏のある部品を製造するためにデカルト座標系を実現することが可能である。他の実施例では、経路生成器 18 は、任意の好適な座標系、たとえば回転する製造ツール 28 上で概して円筒形の部品を製造するためのたとえば角度基準系などの極座標系、円形座標系、球形座標系、曲線座標系などを実現することが可能である。

#### 【0030】

経路生成器 18 は、複合材料貼付け経路 30 を生成するために、複合部品のシーケンスまたは層を形成するように複合材料が貼付けられる区域を表わす、CAD インターフェイス 16 によって作成されるプライ境界定義と、上に複合部品が形成される表面を表わす、CAD インターフェイス 16 によって作成される製造ツール表面定義とを使用できる。プライについてのシードポイントが部品定義に指定されない場合、経路生成器は「シードポイント」、たとえばプライの重心を、所与のプライについての経路生成を開始する開始ポイントとして選択できる。

10

#### 【0031】

複合部品プログラム生成器 10 のさまざまな実施例では、経路生成器 18 は複合材料貼付け経路 30 を生成するために製造ツール表面およびプライの定義を解析することができ、隣接する経路間のいかなる間隙または重複も間隙の規格または仕様に確実に適合するようにする。経路は表面全体の形状および表面の局所的な領域に従って最適化されることが可能である。好ましい実施例では、経路生成器 18 は経路 30 を生成するために三次元 (3-D) 解析を実行できる。しかしながら、代替的な実施例では、経路生成器 18 は経路 30 を生成するために二次元 (2-D) 解析を実行できる。したがって、経路生成器 18 は、間隙または重複の仕様に適合する許容差の範囲内でテープコースなどの標準的な複合材料セグメントの公称幅だけ間隔をあけられた経路で各々のプライの表面区域を埋めることができる。

20

#### 【0032】

経路生成器 18 はさらに、個々の複合材料セグメントを定義できる。たとえば、この発明の好ましい実施例では、経路生成器 18 は製造ツール表面または複合部品表面を表わすために適切な 2-D の基準表面を選択することができ、最初に 2-D の基準表面上に複合材料セグメントをレイアウトすることができる。たとえば、経路生成器 18 は、数学関数または数学関数の組によって容易にモデリングされ得る、円筒、球形または円錐などの単純な表面を選択することができ、その単純な表面上に製造ツールまたは複合部品の表面を投影することができ、上に複合材料セグメントをレイアウトする平面の基準表面を作成するためにその単純な表面を「広げる」または均すことができる。

30

#### 【0033】

テーブラミネーション機械の場合には、経路生成器 18 は、経路 30 の、プライ境界 32、34 との交点に基づいて個々のテープコース 36、38 を定義できる。これらの交点は、テープコースを形成するのに必要なテープ切断パターンを定義できる。複合部品プログラム生成器 10 の 1 つの実施例では、テープ切断パターンはテープコース 36、38 の中心線と直角を成す突合せ切断部として定義されることができ、他の実施例では、テープ切断パターンはより複雑なパターンとして、たとえば線分の組合せで構成されるように定義されることができ。

40

#### 【0034】

基準表面上に複合材料セグメントをレイアウトした後、経路生成器 18 は実際の 3-D の製造ツールまたは複合部品の表面の点で複合材料セグメントを変形または再定義することができる。この変形は、たとえば実際の製造ツール 28 または複合部品の表面から基準表面を作成するために使用される関数に基づいて 2-D のテープコースデータに逆関数を適用することによって達成され得る。さらに、プライの各々のシーケンスごとに、経路生成器 18 はシーケンスの各々のプライ区域上に複合材料の厚みを加えるように表面定義を更新できる。

#### 【0035】

経路生成器 18 によって定義される経路 30 は、いずれの複合材料貼付け機械からも独

50

立している可能性がある。その後、機械に依存しない経路30は、機械に固有の経路を生成するためにコースヘッド管理プログラム20によって特定のタイプの複合材料貼付け機械の特定の送出ヘッドに割当てられることができる。

【0036】

コースヘッド管理プログラム20は、経路生成器18によって定義される複合材料貼付け経路30の比較的複雑な三次元(3-D)形状を受取ることができ、冗長ポイントなどのエラーについて経路30を調べる。エラーが識別される場合、コースヘッド管理プログラム20はたとえば冗長ポイントを取除くなど、エラーを修正することが可能である。さらに、コースヘッド管理プログラム20は、もしあればどの経路30が専用の送出ヘッドに割当てられる必要があるかを判断するために、経路30の各々の3-D形状を解析する

10

【0037】

さらに、コースヘッド管理プログラム20は、最も効率的な複合材料貼付けヘッド-経路割当、つまり、複合部品を製造するのに必要な最短の製造時間をもたらすことになる割当を判断するために、機械に固有の最適化アルゴリズムを実行できる。たとえば、コースヘッド管理プログラム20は、2つの最適化スキーマのうちの1つを利用して特定の複合材料貼付けヘッドおよびツールキャリアッジの特定のパスに経路を割当てることができる。ある実施例では、機械が専用のヘッドを含むかどうかに基づいて、一方の最適化または他方の最適化が実行される。

【0038】

第1に、すべてが標準ヘッドである機械の場合、コースヘッド管理プログラム20は、表面上を移動され得るツールキャリアッジ上に固定された配置の構成にヘッドを配列できる。この場合には、プライの向きおよびツールキャリアッジの、経路30に沿った移動の方向の各々の組合せごとに別個の配置の設計が必要である。概して、配置の設計は、テープをマンドレルに貼付けるために利用され得るヘッドの数を最大にすることによって効率性を高めるように構成される。配置および配置の設計のより詳細な説明が本明細書において図4および図5を参照して開示される。さらに、各々のヘッドは、表面上の対応する経路30の正確な3-D形状を辿るように限られた範囲内で配置に対して移動することが可能である。さらに、配置内の個々の複合材料貼付けヘッドの運動についての制約または許容差は、複合材料貼付けヘッド間または複合材料貼付けヘッドと他の機械構造との間の衝突を防ぐことができる。

20

30

【0039】

第2に、1つ以上の専用の複合材料貼付けヘッドを有する機械の場合、コースヘッド管理プログラム20は複合材料貼付けヘッドに経路30を効率的に割当てするために「貪欲な(greedy)最適化」を使用できる。つまり、ツールキャリアッジの各々のパスごとに、最大可能な数の経路30がそのパスに割当てられ、以下の2つの条件を被る。第1の条件は、可能であれば、各々の特別なヘッドが、そのヘッドを必要とする経路30を割当てられ得るといふものであり、第2の条件は、可能であるときにはいつでも、割当てられていない経路を残さないように、連続した経路30のグループがすべての複合材料貼付けヘッドに割当てられるといふものである。場合によっては、十分な専用のヘッドが利用可能でない

40

【0040】

複合部品プログラム生成器10のいくつかの実施例では、コースヘッド管理プログラム20は、論理経路の順序付けられた組を作成するために経路30の3-D形状に基づいて2-D表現を構成でき、2-D領域においてヘッド-経路割当解析を実行できる。これらの実施例では、コースヘッド管理プログラム20はそれぞれの2-Dの複合材料貼付けヘッドおよびツールキャリアッジパス割当に3-Dの経路を後に関連付けることができる。他

50

の実施例では、コースヘッド管理プログラム 20 は 3 - D 領域においてヘッド - 経路割当解析を実行できる。さらに、コースヘッド管理プログラム 20 は結果として生じるデータを編成するためにさまざまなクリーンアップタスクを実行できる。

#### 【 0 0 4 1 】

結果として生じる経路およびヘッド割当データは、マルチヘッド複合材料貼付け機械上および従来の単一ヘッド複合材料貼付け機械上で実行され得る機械コードフォーマットで CNC 部品プログラムを生成するために、ポストプロセッサ 22 によって使用されることができる。ポストプロセッサ 22 は、製造ツールまたは複合部品の表面に接近するまたはそこから離れる、および複合材料を始動、停止および切断するなどの複合材料貼付けヘッド動力学を管理する後処理の際の機能をプログラマーにもたらしることができる。ポストプロセッサ 22 は、全体的な複合材料貼付け速度を改良または最適化するようにプログラマーが機械軸の加速度および速度を制御できるようにもする。

10

#### 【 0 0 4 2 】

最初に、ポストプロセッサ 22 は経路定義ならびにヘッド - 経路およびキャリッジパスの割当を含む経路データを受取ることができる。ポストプロセッサ 22 は、各々のツールキャリッジパスまたは複合材料セグメントの初めに複合材料貼付けヘッドが製造ツールまたは複合部品の表面に接近するため、および各々のパスまたはセグメントの終わりに複合材料貼付けヘッドが表面から離れるための機械軸モーション制御データを追加できる。つまり、所与のツールキャリッジパス上に割当てられた経路を有する各々の複合材料貼付けヘッドごとに、ポストプロセッサ 22 は表面への接近定義またはモーションプロファイル、および表面からの離脱定義またはモーションプロファイルを追加できる。複合部品プログラム生成器 10 のいくつかの実施例では、ポストプロセッサ 22 は、各々の複合材料貼付け経路 30 ごとにヘッド接近プロファイルおよび離脱プロファイルを追加できる。他の実施例では、ポストプロセッサ 22 は、経路 30 の各々に沿った各々の複合材料セグメントごとにヘッド接近プロファイルおよび離脱プロファイルを追加できる。

20

#### 【 0 0 4 3 】

したがって、各々の複合材料貼付け経路 30 ごとまたは各々の経路 30 に沿った各々の複合材料セグメントごとに、ポストプロセッサ 22 はあらかじめ対応するヘッドを加速させ、次いで一瞬ヘッドを減速させ、複合材料の端部を切断し、複合材料の送りを始動し、ツールキャリッジまたは配置に対する公称位置にヘッドを再位置決めしかつツールキャリッジの速度と一致するようにヘッドを加速させるための機械軸モーション制御データを追加できる。「実行中の追加」と称されるこのプロセスは、複合材料の端部が正確な位置に置かれるように同期されることができる。たとえば、テープ敷設機械上で、「実行中の追加」プロセスは、複合材料セグメント定義によって指定された位置において対応するヘッド圧縮装置の下をテープ端部が正確に通過するように、つまり、指定された複合材料端部配設許容差に従って同期されることができる。

30

#### 【 0 0 4 4 】

同様に、各々の複合材料貼付け経路 30 ごとまたは各々の経路 30 に沿った各々の複合材料セグメントごとに、ポストプロセッサ 22 は、あらかじめ対応するヘッドを加速させ、次いで製造ツール表面の速度と一瞬一致するようにヘッドを減速させ、複合材料の端部を切断し、複合材料の送りを停止し、ツールキャリッジまたは配置に対する公称位置にヘッドを再位置決めするようにヘッドを加速させるための機械軸モーション制御データを追加できる。「実行中の切断」と称されるこのプロセスも、複合材料の端部が正確な位置に置かれるように同期されることができる。たとえば、テープ敷設機械上で、「実行中の切断」プロセスは、複合材料セグメント定義によって指定された位置において対応するヘッド圧縮装置の下をテープ端部が正確に通過するように、つまり、指定された複合材料端部配設許容差に従って同期されることができる。さらに、「実行中の切断」プロセスは、複合材料が所定の位置で切断される時間を見越すために、製造ツールまたは複合部品の表面に対して固定された位置を一瞬維持するようにヘッドを減速させることを含み得る。

40

#### 【 0 0 4 5 】

50

「実行中の追加」および「実行中の切断」モーションプロファイル、ならびに表面への接近および表面からの離脱モーションプロファイルは動的なものであり得る。つまり、モーションプロファイルは個々の複合材料セグメントの長さおよび複合材料セグメント間のそれぞれの距離に応じて異なる可能性がある。したがって、ポストプロセッサ 22 はさらに、複合材料貼付けヘッドの接近および離脱モーションプロファイル、ならびに「実行中の追加」および「実行中の切断」モーションプロファイルがすべてのポイントにおいて、対応する複合材料貼付けヘッドの絶対位置に関しておよびツールキャリッジの位置に対するヘッドの相対的な位置に関して連続的で滑らかなヘッドモーションを定義することを検証できる。さらに、ポストプロセッサ 22 は、接近、離脱、「実行中の追加」および「実行中の切断」モーションプロファイルが複合材料貼付け機械動力学に関するいずれの要件または仕様にも違反しないことを検証できる。

10

**【 0 0 4 6 】**

複合部品プログラム生成器 10 のいくつかの実施例では、ポストプロセッサ 22 は、複合材料アプリケーション圧縮装置が起動される指定された位置または「圧縮オン」位置を表面への接近定義の中にも含み得る。同様に、ポストプロセッサ 22 は、複合材料アプリケーション圧縮装置が停止される指定された位置または「圧縮オフ」位置を表面からの離脱定義の中にも含み得る。他の実施例では、ポストプロセッサ 22 は、たとえば各々の経路 30 に沿った各々のテープコースごとの複合テープ敷設機械の場合には、経路 30 の各々に沿った各々の複合材料セグメントごとに「圧縮オン」位置および「圧縮オフ」位置を指定できる。

**【 0 0 4 7 】**

20

さらに、ポストプロセッサ 22 は配置の通路または配置の通路のシーケンスを定義できる。つまり、ポストプロセッサ 22 は、単一のツールキャリッジパスに割り当てられた材料貼付け経路 30 のグループを評価でき、経路 30 のグループに対する中央通路を判断できる。たとえば、ポストプロセッサ 22 は、ツールキャリッジパスのための割り当てられた経路を有する各々の複合材料貼付けヘッドに関して理想的な配置の通路を判断でき、理想的な経路の組に基づいて、中央配置通路を判断できる。ポストプロセッサはさらに、ヘッドの各々が配置の通路に基づいて対応する経路位置のすべてのポイントに到達できることを検証できる。

**【 0 0 4 8 】**

さらに、ポストプロセッサ 22 は中央通路を拡張でき、パスについての配置の開始および終了ポイントを定義できる。つまり、ポストプロセッサ 22 は、複合材料貼付けヘッドが特定の配置の構成の中で設定または位置決めされ得る位置、および複合材料貼付けヘッドが異なる配置の構成の中でリセットまたは再位置決めされ得る位置を指定できる。ポストプロセッサ 22 はさらに、シーケンシャルな配置の通路を連続的な一連の方向通路または単一の連続的な通路に接続できる。

30

**【 0 0 4 9 】**

さらに、経路 30 および対応する配置の通路に基づいて、ポストプロセッサ 22 は割り当てられた経路を有する各々の複合材料貼付けヘッドごとに相対的な経路を定義できる。相対的な経路は個々の経路 30 を配置の通路に関連付ける。したがって、ポストプロセッサは、相対的な経路に基づいてツールキャリッジに対する個々のヘッドの運動を制御するために機械軸の解を判断できる。たとえば、ポストプロセッサ 22 は、配置の通路ポイント、個々の経路ポイントおよび製造ツール表面または更新された表面法線データに基づいて機械軸の位置の解を生成するために従来の機械運動学論理を実現することができる。機械軸の解は、サーボモータ、または複合材料貼付けヘッド、ツールキャリッジもしくは製造ツールのモーションを作り出すための任意の好適なアクチュエータによって複合材料貼付け機械の運動を制御するために使用されることができ。

40

**【 0 0 5 0 】**

すべての複合材料貼付けヘッド間で共有されるモーションの少なくとも 1 つの共通の機械軸方向が常に存在するので、すべてのヘッドの機械軸はグループとして補間される。しかしながら、既存の CNC コントローラは、単一の補間グループの中で比較的多数の軸を

50

補間する容量を持たない。したがって、軸の数に関する既存の CNC コントローラの制約を克服するために、CNC コントローラではなくポストプロセッサ 22 が個々の機械軸の位置、速度、加速度およびジャークまたはサージをすべてのポイントにおいて計算できる。ポストプロセッサ 22 はさらに、機械軸の解が機械の制約または仕様に違反しないことを検証でき、正確な複合材料貼付け経路を維持しながら、滑らかな物理的遷移をもたらすように機械軸の解に対して小さな調整を行なうことができる。したがって、ポストプロセッサは複合材料貼付けヘッドの機械軸の解を密接に同期させることができる。

**【 0 0 5 1 】**

配置の通路に基づいて、ポストプロセッサ 22 はツールキャリッジルートおよび製造ツールまたはマンドレルルートを定義できる。たとえば、ポストプロセッサ 22 は製造ツールまたは複合部品の表面を横切るツールキャリッジの方向パスのシーケンス、および回転するマンドレルについての回転もしくは角運動または平坦なもしくは起伏のあるマンドレルについての並進運動のシーケンスを判断できる。製造ツールまたは複合部品の表面上の複合材料貼付けヘッドの運動が製造ツールに対するツールキャリッジの関係位置に依存するので、製造ツールまたは複合部品の表面上の複合材料貼付けヘッドのいくつかの運動は、ツールキャリッジの位置、製造ツールの位置、またはそれら両方の変化によって判断されることができる。したがって、製造ツールルートおよびツールキャリッジルートは相互に依存し得る。

10

**【 0 0 5 2 】**

したがって、ポストプロセッサ 22 は、配置の通路に基づいて必要な関係位置を得るために製造ツールおよびツールキャリッジの運動の効率的または最適な組合せを判断するように、製造ツールルートをツールキャリッジルートと同期させることができる。つまり、ポストプロセッサ 22 は、配置の通路をもたらすためにツールキャリッジについておよび製造ツールについての機械軸の解を同時に生成するように従来の機械運動学論理を実現できる。さらに、ポストプロセッサ 22 は、厳密な複合材料貼付けヘッド制御を維持するために、個々のヘッドの機械軸の解をツールキャリッジおよび製造ツールの機械軸の解と密接に同期させることができる。

20

**【 0 0 5 3 】**

複合部品プログラム生成器 10 の好ましい実施例では、比較的多数の調整された機械軸を管理するために、複数の分散された CNC コントローラ全体にわたるマスタ/スレーブ軸関係が適応されることができる。たとえば、マルチヘッド複合材料貼付け機械は、マスタ CNC コントローラおよび複数のスレーブ CNC コントローラによって制御され得る。マスタコントローラおよびスレーブコントローラは、各々の補間周期中にさまざまなコントローラ間で関連するデータを交換することを容易にし得る高速バスによってともにネットワーク接続されることができる。したがって、マスタコントローラは個々の CNC 補間周期を調整できる。

30

**【 0 0 5 4 】**

たとえば、CNC コントローラの各々は 3 つのプロセスチャネルとともに構成されることができ、このプロセスチャネルの各々は複合材料貼付け作業の間に周期的に実行する永久的な部品プログラムを有し得る。永久的な部品プログラムはたとえば、ヘッドが製造ツールまたは複合部品の表面に隣接していないときに個々のヘッドのモーションを調整するために使用されることができる。さらに、永久的な部品プログラムは、曲線テーブルデータの、個々のコントローラメモリへの増分バックグラウンドローディングを調整し、サーボ軸および補助コードデータストリームへの曲線テーブルの関与のシーケンスを制御するために使用されることができる。

40

**【 0 0 5 5 】**

さらに、全体的な複合材料貼付け速度を上げるために、ポストプロセッサ 22 は、たとえばツールキャリッジモーション、製造ツールモーションまたはツールキャリッジモーションおよび製造ツールモーションの組合せに対応し得る配置の速度またはマスタ軸のモーションの速度を、各々のツールキャリッジパスごとにさまざまな複合材料貼付け機械の動

50

作に対応するいくつかの予め定められた速度のうちの1つに設定できる。たとえば、好ましい実施例では、配置の速度は、複合材料の「追加」、「敷設」および「切断」機械動作に対応する3つの基本的な速度のうちの1つに調節されることができる。概して、配置の速度は、ツールキャリッジパスの際にいずれのポイントにおいても任意の活動中の複合材料貼付けヘッドの最悪の場合の動力学によって抑えられる可能性があり、加速および減速時間を考慮に入れる。

**【0056】**

さらに、ポストプロセッサ22は、機械軸の限度を常に超えないことを検証するために、すべての複合材料貼付けヘッド、ツールキャリッジおよび製造ツールの機械軸について機械軸の限度を調べることができる。さらに、ポストプロセッサ22は、複合材料貼付けヘッドのモーションの経路が確実に衝突のないものであるようにするためにすべての複合材料貼付けヘッドの位置を調べることができる。さらに、ポストプロセッサ22は、複合部品プログラムについての複合材料総使用量を計算および報告できる。

10

**【0057】**

最後に、ポストプロセッサ22は、特定の複合材料貼付け機械と関連して使用されるCNCコントローラと互換性があるデータフォーマットで機械軸の解の結果を含む出力ファイルまたは出力ファイルの組を作成できる。たとえば、複合部品プログラム生成器10の好ましい実施例では、出力ファイルはシーメンス(Siemens)840D CNCコントローラシステムと互換性がある一意の曲線テーブルフォーマットで書込まれることができる。いくつかの実施例では、出力ファイルまたは出力ファイルの組は、複合部品プログラムによって定義される各々のツールキャリッジパスごとに作成され得る。

20

**【0058】**

たとえば、各々のツールキャリッジパスごとに、ポストプロセッサ22は、必要なマスタ/スレーブ関係を含む線形補間座標点の対または多項式関数定義などの位置データをもたらすために各々の機械軸ごとに曲線テーブルファイルを作り出すことができる。さらに、各々のツールキャリッジパスごとに、ポストプロセッサ22は、複合材料送り制御データ、切断機制御データなどの補助コード定義をもたらすために各々の複合材料貼付けヘッドごとにさらなる曲線テーブルファイルを作り出すことができる。したがって、ポストプロセッサ22は、複合部品を製造するために、複合テーブルミネーション機械または自動ファイバ配設(AFP)機械などのCNCコントローラおよび複合材料貼付け機械とともに使用する複数の同時複合部品プログラムを作成できる。

30

**【0059】**

いくつかの実施例では、出力ファイルデータフォーマットは、本明細書に開示されるものなどのマスタ/スレーブCNC制御スキームと互換性がある可能性がある。たとえば、好ましい実施例では、シーメンス840D曲線テーブル(Siemens 840D curve table)フォーマットは、マルチヘッド複合材料貼付け機械のマスタ/スレーブ軸関係を実現できる。これは、各々の機械軸に適用される従来のCNC制御変数に加えて機械軸の両方の対に適用され得る主要な変数とスレーブ変数との間の数学的定義を曲線テーブルがもたらし得るために可能になる。

**【0060】**

この発明の好ましい実施例では、ポストプロセッサ22は、機械シミュレータ24と互換性があるデータフォーマットで補足的な出力ファイルまたは補足的な出力ファイルの組を作成できる。たとえば、ポストプロセッサ22は機械シミュレータ24によって使用される機械軸の位置データの時間に基づくサンプリングを含む出力ファイルを作り出すことができ、これはたとえばシーメンス840D曲線テーブルフォーマットでは複合部品プログラムを解釈できないかもしれない。

40

**【0061】**

機械シミュレータ24は、出力ファイルまたは補足的な出力ファイルを受取ることができ、複数の機械軸を有する複数の複合材料貼付けヘッドを含む複合材料貼付け機械の動作をシミュレートすることができる。たとえば、機械の衝突の回避およびプロセスの改善を

50

容易にするために、機械シミュレータ 24 は物理機械をモデリングでき、CNCコントローラの機能を複製でき、周期情報を作り出すことができる。したがって、機械シミュレータ 24 は無駄を排除でき、CNC製造プロセスの経済的価値を向上させることができる。

【0062】

複合部品プログラムの開発中に、実際の複合材料貼付け機械でプログラムを走らせる前に、複合部品プログラムまたは補足的な等価物は、エラー、特に複合材料貼付けヘッド間もしくは個々の複合材料貼付けヘッドと他の機械構造との間の衝突などの、場合によっては機械に損傷を与える恐れがある位置エラーを複合部品プログラムが含まないことを検証するために機械シミュレータ 24 によってシミュレートされることができる。

【0063】

機械シミュレータ 24 は、たとえば、グラフィック表示により、または警告メッセージを介して、ユーザにフィードバックを提供することができる。機械シミュレータ 24 は、対話型 3Dシミュレーション環境として機能し得る。したがって、機械シミュレータ 24 は、CNCコントローラを含む物理機械の機能性、たとえば、複合材料の貼付け過程または除去過程の視覚化および解析に対処し得る。機械シミュレータ 24 は、ユーザが複合部品プログラムの品質または効率を改善すること、破局的なプログラムエラーを排除すること、および機械加工処理を最適化することを可能にし得る。

【0064】

たとえば、この発明の好ましい一実施例において、機械シミュレータ 24 は、フランス、シュレーヌのダッソー・システムズ S. A により製造された DELMIA VNCシミュレーションシステムに基づき得る。しかしながら、DELMIA VNCの既存のバージョンは、同期シミュレーションモードにおいて 18 軸以下の機械モーションをシミュレートすることに限定される。より多軸のシミュレーションをサポートするために、各複合材料貼付けヘッドは、5 軸を有する別個のまたは独立した装置として定義され得る。個々の複合材料貼付けヘッドは、装置間のデジタル通信 (I/O) 信号をシミュレートすることにより、シミュレーションにおいて同期され得る。このシミュレーション処理により、より多軸の同期されたシミュレーションが可能になり得る。すなわち、この処理を使用して、たとえば 42 軸を有する機械が同期モードにおいてシミュレートされた。

【0065】

複数の供給ヘッドを一般に含む貼合せ装置、より特定的には、マルチヘッドテーブラミネーション機械 (MHTLM) 技術は、複合テープの敷設速度の著しい上昇の潜在性を提供する。しかしながら、適切なシミュレーションおよびモデリングを用いない場合、ヘッドの構成、経路等の最適化は、費用および時間のかかる課題である。速度シミュレータ 23 は、提案された MHTLM の機能を模倣し、かつ、その潜在性能を予測する離散事象シミュレーションプログラムを含む。速度シミュレータ 23 は、設計技師および他のユーザに対し、特定の MHTLM の詳細な統計値およびヘッド割当アルゴリズムを提供する。速度シミュレータ 23 は、実際に構築を行わなくても、提案された MHTLM の設計およびヘッド割当アルゴリズムの性能の予測および検証を可能にする。すなわち、仮想 MHTLM の設計がテストされ得、異なる設計の広範囲な交換条件についての研究が可能になる。これにより、開発のコストおよび時間が著しく削減され得、最適な MHTLM の構成および最適なヘッド割当アルゴリズムの設計が補佐され得る。速度シミュレータ 23 はまた、設計技師がハードウェアの構築時に使用するための、有用なヘッドおよび経路の動作の統計値の一群も生成する。

【0066】

速度シミュレータ 23 は、MHTLM、輪郭テーブラミネーション機械 (CTLM)、平坦なテーブラミネーション機械 (FTLM)、または任意の公知のファイバ配設機械により使用される、平坦な、円筒形の、および/または不規則な形状をシミュレートするように構成される。代表的なシステムモデルを生成するために、特定の MHTLM の設計および/または特定のツールの構造データが使用される。これらのデザインパラメータを変更することにより、多くの MHTLM の設計の広範囲な交換条件についての研究が可能で

10

20

30

40

50

ある。対象とされるプライのデータの場合、速度シミュレータ 23 は、特定の設計の材料敷設速度を推定し、性能のさまざまな局面の多様かつ詳細な統計データを報告する。シミュレーション処理の詳細な視覚提示は、速度シミュレータ 23 のパワーも高める。すなわち、所与の複合品を製作する MHTLM 設計のシミュレートされた画像および/または動画を視認することにより、設計技師および他のユーザには、潜在的な問題の迅速かつ効率的な識別を可能にする情報が提供される。加えて、このフォーマットでの情報は、視覚媒体に一層精通しているユーザに対し、強力なマーケティングツールを提供する。

【0067】

図 3 は、この発明の実施例による機械シミュレータ 24 に対するシステムアーキテクチャのブロック図である。図 3 に示すように、機械シミュレータ 24 は、MHTLM データ管理プログラム 50、経路生成器 18、コースヘッド管理プログラム 20、ヘッド配置生成器 56、MHTLM の事象管理プログラム 58、およびヘッド配置視覚化装置 60 を含む。

10

【0068】

MHTLM データ管理プログラム 50 は、機械シミュレータ 24 のさまざまな他のモジュールに適宜アクセスしてデータを転送する。たとえば、MHTLM データ管理プログラム 50 は、シミュレーション制御データセット 62 にアクセスする。シミュレーション制御データセット 62 は、ターゲットツールデータファイル 64、テープ配向データファイル 66、および視覚提示要求データファイル 68 を含む。加えて、MHTLM データ管理プログラム 50 は、MHTLM 構成ファイル 70 およびプライ形状データファイル 72 にアクセスする。MHTLM データ管理プログラム 50 はさらに、経路生成器 18、コースヘッド管理プログラム 20、ヘッド配置生成器 56、MHTLM 事象管理プログラム 58、およびヘッド配置視覚化装置 60 と通信し、これらのモジュールに対し、要求されたデータを適宜提供する。

20

【0069】

所与のプライの形状に対するテーピング処理は、MHTLM によりテープが貼付けられる一連のテープ経路へと分割される。機械シミュレータ 24 は、経路生成器 18 により計算され、かつ、製造ツール 28 および貼付けられるべきテープの数値表現に基づいた、1 組の理想的な経路を受取る。経路生成器 18 は、複合品の上にテープを貼付けるための経路を計算する。たとえば、図 2 の製造ツール 28 上で形成されるもの等の本質的に円筒形の複合品の場合、経路生成器 18 は、製造ツール 28 の表面に対応する等価な二次元空間を計算することができる。プライの形状データ 72 (たとえば入れ子状の多角形において)、およびテープ配向データファイル 66 の場合、経路生成器 18 は、適切なテープ幅で、対象とされるプライを被覆する経路を計算する。計算された経路は一般に、「理想的な」経路と呼ばれる。この情報を利用して、理想的な経路および表面モデル 74 が生成される。他の例において、経路生成器 18 は、平坦な、起伏のある、および/または不規則な表面を計算することができる。

30

【0070】

図 5 に記載されるように、コースヘッド管理プログラム 20 は、「配置」のパスのシーケンスを生成する。配置とは、相対的なヘッド位置の配列である。一実施例において、ヘッド位置の相対的な配列は、所与の配置に対して本質的に固定されている。この配列は、ヘッドが互いを、MHTLM の構造を、および/または製造ツール 28 の構造を妨害することなく配設され得る場所に関して MHTLM により課される制約を満たすように構成される。プライの角度および(経路に沿った前方または後方への)移動方向のいくつかの組合せまたは各組合せに対し、また、MHTLM および/または製造ツール 28 の構成の一局面が変更された場合には、別個の配置のデザインが生成され得る。

40

【0071】

理想的な経路および表面モデル 74、プライ形状データ 72、およびテープ配向データファイル 66 に関し、コースヘッド管理プログラム 20 は、配置のパスのファイル 76 のシーケンスを生成する。各パスに関し、特定の経路にヘッドが割当てられる。このパスに

50

についての配置全体の移動方向もまた割当てられる。

【 0 0 7 2 】

ヘッド配置生成器 5 6 は、所与の組のパラメータに対し、ヘッドの配置を決定する。より特定の、テープ配向データファイル 6 6 および M H T L M 構成ファイル 7 0 の場合、ヘッド配置生成器 5 6 は、指定された配向に対するヘッド割当の要望との整合性を有する配置を計算する。この情報は、配置データファイル 7 8 に格納される。

【 0 0 7 3 】

M H T L M 事象管理プログラム 5 8 は、2つのモジュール、すなわち、ヘッドの特定の運動を決定する運動モジュール 5 8 A と、性能予測およびタイミング報告を生成するタイミングモジュール 5 8 B とを含む。ヘッドの運動またはヘッドの事象は一般に、さまざまな軸におけるヘッドの回転、テープの追加および切断の事象等を含む。たとえば、ヘッド配置が各パスにおいて割当てられた経路を通行する際に、テープヘッドは適宜回転し、追加および/または切断のアクションを実行し、指定された区域にテープを敷設する。運動モジュール 5 8 A は、特定の経路において生じるさまざまなアクションに対する、各ヘッドについての事象を生成する。ヘッド配置全体についてのこれらの事象の計算が、特定のパスに関して完了した後に、タイミングモジュール 5 8 B は、これらのさまざまな事象を組合せて分類し、当該パスを実行するのに経過した時間を計算する。タイミングモジュール 5 8 B はまた、後の報告に備え、各事象から種々の適切なデータも収集する。このような適切なデータの例には、テープの使用、特別な経路情報等が含まれる。所与のプライのテーピング処理の終了時に、タイミングが記録される。これらの事象からのデータの概要が、ヘッド事象ファイル 8 0 および/または性能予測およびタイミング報告ファイル 8 2 として出力される。これらの報告は、たとえば技師または他のユーザにより評価され得る。

【 0 0 7 4 】

ヘッド配置視覚化装置 6 0 は、関連する数値モデルおよび/または運動の計算に基づき、視覚媒体を生成する。ヘッド配置視覚化装置 6 0 は、M H T L M データ管理プログラム 5 0 からさまざまなデータファイル、モデル、および/または事象を受取り、視覚出力ファイル 8 4 の形で、テーピング処理の 2 D および/または 3 D 画像、および/またはビデオを生成する。ヘッド配置視覚化装置 6 0 からの視覚出力ファイル 8 4 は、任意の適切なフォーマットで視認され得る。ヘッド配置視覚化装置 6 0 はさらに、視認角度、距離、3 D 照明、および表示シミュレーション時間を変更するように構成され得る。

【 0 0 7 5 】

図 3 はまた、この発明の実施例による速度シミュレータ 2 3 のシステムアーキテクチャのブロック図でもある。速度シミュレータ 2 3 は、機械シミュレータ 2 4 とほぼ同様のシステムアーキテクチャを含むため、簡潔にするために、異なる要素のみを以下に説明する。両者の違いは、速度シミュレータ 2 3 の方が、機械シミュレータ 2 4 よりも、利用する詳細なデータ量が相対的に少ない点である。より特定の、速度シミュレータは、経路生成器 1 8、コースヘッド管理プログラム 2 0、およびヘッド配置生成器 5 6 により生成された予備データを利用する。より少ない詳細なデータに基づいた予測結果がより迅速に生成され得る点が、速度シミュレータ 2 3 の利点である。多数の構成の迅速な生成は、技師に対し、多数の「...ならばどうするか」のシナリオをテストすることにより製作過程を最適化する機会を提供する。実際に、配置を設計する過程において、速度シミュレータ 2 3 を相対的に早期に利用して、有望な構成を識別することができる。これらの有望な構成は、さらに別の解析の開始ポイントとして、後に利用され得る。

【 0 0 7 6 】

図 4 は、図 3 の実施例による、ヘッドの運動を割当て、シミュレートするために辿られ得るステップを図示する方法 9 0 のフロー図である。図 4 に示すように、方法 9 0 は、ステップ 9 2 において配置 7 8 を生成することにより開始される。配置 7 8 は、M H T L M 構成ファイル 7 0、プライ形状データファイル 7 2、およびテープ配向データファイル 6 6 に応答して、ヘッド配置生成器 5 6 によりステップ 9 2 において生成される。

## 【 0 0 7 7 】

ステップ 9 4 では、ターゲットツールデータファイル 6 4 を受取ったことに応答して、理想的な経路および表面モデル 7 4 が、経路生成器 1 8 により生成される。

## 【 0 0 7 8 】

ステップ 9 6 では、理想的な経路および表面モデル 7 4 ならびに配置データファイル 7 8 を受取ったことに応答して、配置のパスのファイル 7 6 のシーケンスが、コースヘッド管理プログラム 2 0 により生成される。

## 【 0 0 7 9 】

ステップ 9 8 では、配置のパスのファイル 7 6 のシーケンスを受取ったことに応答して、ヘッド事象ファイル 8 0 が、M H T L M 事象管理プログラム 5 8 により生成される。

10

## 【 0 0 8 0 】

ステップ 1 0 0 では、ヘッド事象ファイル 8 0 を受取ったことに応答して、性能予測およびタイミング報告ファイル 8 2 が、M H T L M 事象管理プログラム 5 8 により生成される。

## 【 0 0 8 1 】

ステップ 1 0 2 では、ヘッド事象ファイル 8 0 を受取ったことに応答して、視覚出力ファイル 8 4 が、ヘッド配置視覚化装置 6 0 により生成される。

## 【 0 0 8 2 】

方法 9 0 の後に、機械シミュレータ 2 4 は、この方法 9 0 が再び開始されるまで、アイドル状態にあるか、または停止し得る。

20

## 【 0 0 8 3 】

図 5 は、この発明の実施例による、送出ヘッドをそれぞれのコースに割当てするためのコースヘッド管理プログラム 2 0 のシステム図である。一般に、コースヘッド管理プログラム 2 0 は、M H T L M の効率および/または敷設速度を最大にするように構成される。M H T L M は、多数のヘッドを支持するためのキャリッジを含む。このキャリッジが製造ツールの一方端から他方端へと横方向に移動するたびに、このキャリッジは、1 つのパスを生じたと言われる。理想的には、ヘッドのすべてがこのパスの間にテープを供給する。一般に、ヘッド割当の効率を高めることにより、複合品を製作するのに必要とされるパスの総数を減らすことができる。効率とは、ヘッドの総数に対する、任意の特定の時間にテープを敷設しているヘッドの、平均的な割合として定義される。しかしながら、たとえば、テープを貼付けるのにすべてのヘッドを必要とするほどプライの幅が大きい場合、このことが場合によっては適さないこともある。

30

## 【 0 0 8 4 】

加えて、テープの敷設速度を最大にするために、可能な限り、相対的に幅の広いテープを使用することが望ましい。しかしながら、たとえば、プライの幅がこの幅の広いテープ幅の倍数ではない場合、または、表面の曲率によって幅の広いテープに皺が生じる場合、このことが場合によっては適切ではない場合がある。したがって、コースヘッド管理プログラム 2 0 は、さまざまなヘッド特性を含み得、かつ、さまざまなテープ特性を含むテープを供給し得るヘッドに対応する。一般に、ヘッド特性は、特定のヘッドの制約または機能を含む。ヘッドの制約および/または機能の例には、テープ幅供給機能、ヘッドの隙間要件、各プライの寸法、切断角度、たとえば突合せ、テーパ等、ヘッドのサイズ、運動の範囲、ヘッド当たりのトゥ数等の 1 つ以上が含まれる。テープ特性には、幅、厚さ、剛性、面内の湾曲および/または傾斜が不連続である可能性、材料成分等が含まれる。加えて、コースヘッド管理プログラム 2 0 は、さまざまな他のヘッドおよびテープ特性に対応し得る。

40

## 【 0 0 8 5 】

図 5 に示すように、コースヘッド管理プログラム 2 0 は、コースヘッド管理プログラム ( C H M ) プリプロセッサ 1 1 0、コースヘッド管理プログラム ( C H M ) コア 1 1 2、およびコースヘッド管理プログラム ( C H M ) ポストプロセッサ 1 1 4 を含む。

## 【 0 0 8 6 】

50

一実施例において、コースヘッド管理プログラム20は、テープ経路の3D表現ではなく、当該経路の2D論理的配列を利用する。CHMプリプロセッサ110は、経路生成器18により定義された、相対的に複雑な3D経路にアクセスし、エラーのチェックおよび訂正、たとえば冗長ポイントの除外を行ない、CHMコア112により利用される論理的2D経路を含むファイル116を生成する。この2D論理的配列の複雑さを低減するために、各経路は、本質的に同じ幅（公称テープ幅+公称の指令された間隙）であるものと想定され得る。加えて、CHMプリプロセッサ110は、3D経路にさまざまなテストを実施し、専用のヘッドに割当てられ得る経路を決定する。ヘッド割当の複雑さを低減するために、各経路は、いずれかの所与のパスにおいて、1つのテープヘッドに割当てられ得る。

10

#### 【0087】

経路生成器18により製造された経路は、テープコース36等のテープコースの一群を含む。コースとは、敷設されるべきテープのセグメントである。各コースは、製造ツール28またはマンドレルの表面にわたってテープの中心線が取るであろう3D経路である経路を参照する。一般に、各経路は1~4コースをサポートするが、その結合性（associativity）は、コース-経路であって、経路-コースではない。いくつかの経路は、敷設され得る最小の長さよりも長いコースを有していないことがあり得、空き経路と考えられ得る。

#### 【0088】

CHMプリプロセッサ110は、経路生成器18により提供されたテープコースを、それらの関連する経路にグループ化し、円筒座標および/またはデカルト（Cartesian）座標を用いる分類アルゴリズムを使用して、経路を順序付けて（左-右、上-下に）分類する。CHMコア112は、関連する公称経路幅とともに経路の順序に基づき、経路を決定する。このようにして、空き経路は、形状を変更する場合、論理構造内に保存され得る。たとえば、非空き経路を分離する空き経路は、経路の構造または配列を変化させ得る。

20

#### 【0089】

加えて、CHMプリプロセッサ110は、テープ特性、ヘッド特性、製造ツール28の曲率等の因子に基づき、テープコースが予め定められた組のパラメータに適合しているか否かを判断する。より特定の、CHMプリプロセッサ110は、各テープコースが実質的に一定かつ全幅のテープを含んでいるか否かを判断し得る。CHMプリプロセッサ110はさらに、各テープコースにおける面内の湾曲および/または傾斜の不連続性が、コースの長さにわたって予め定められたしきい値を上回っているか否かを判断し得る。これらのまたは他のパラメータがそれぞれのしきい値を上回っていると判断された場合、CHMプリプロセッサ110は、プライを構成する特定のコースおよび/または他のコースをマークして、専用ヘッドの使用を示すことができる。この態様で、CHMプリプロセッサ110は、貼付けられたテープに皺が寄ること、または他のこのような潜在的な問題を、低減または解消することができる。

30

#### 【0090】

CHMコア112は一般に、ツールキャリッジの特定のパスにおいて、論理的テープ経路を特定のヘッドに割当てる。数学的に、1つの特定のヘッドの割当が、他の考え得る任意のヘッド割当よりも高効率であることの証明は、計算上処理しにくい課題である。したがって、CHMコア112の一実施例は、発見的方法と、小規模な最適化との組合せを含んで、ヘッドの割当を決定する。加えて、CHMコア112は、決定の過程において利用されていたMHTLMの構成の種類を考慮する。これらのMHTLMの構成は一般に、標準的なヘッドのみを含むか、または1種類のヘッドのみを含む貼合せ機械と、少なくとも1つの特別なヘッドを含む貼合せ機械とを含む。

40

#### 【0091】

CHMコア112は、配置の概念を利用して、1種類のヘッドまたは標準的なテープヘッドのみを含む貼合せ機械についてのヘッドの割当を決定するように構成され、当該ヘッドの各々は、いずれの経路にもテープを貼付けることができる。配置とは、パス中におい

50

て相対的に固定された状態を保つヘッド位置の配列である。C H Mコア1 1 2は、ヘッドが互いを、M H T L Mの構造を、および/または製造ツール2 8を妨害せずに配設される場所に関し、M H T L Mにより課された制約を満たす特定の配置を決定または選択する。さらに、C H Mコア1 1 2により選択された特定の配置は、個々のヘッド位置が、各軸に沿って予め定められた割当量内で調節される際に、これらの制約を満たすように構成される。これらの予め規定された割当量は、個々のヘッドが、製造ツール2 8の表面上において、割当てられた経路の正確な3 D形状を辿ることを可能にするように設定される。さらに、C H Mコア1 1 2により選択された特定の配置は、全プライに対して1 0 0 %の効率を提供し得る。全プライは、製造ツール2 8の表面全体を被覆するプライとして定義される。一実施例において、このことは、本質的に各ヘッドが常時作動している状態で、同じ配置を有する少数のパスが、経路の連続したブロックを対象として含むように配置を構築することにより達成される。

10

**【0092】**

一実施例では、プライの角度と（経路に沿った前方または後方への）移動方向との各組合せに関し、1つの対応する配置が計算または選択される。たとえば、機械の設定全体における本質的にいずれの局面が変更された場合でも、対応する配置は、それに応じて変更される。

**【0093】**

一実施例において、C H Mコア1 1 2は、存在する任意の特別なヘッドについてのヘッド割当を最適化するように構成される。たとえば、C H Mコア1 1 2は、1つまたはいくつか特別なヘッドであり、かつ、その残りが標準的なヘッドである状態で、貼合せ機械に対する「貪欲な」最適化を利用することができる。すなわち、C H Mコア1 1 2は、特別なヘッドの各々が特別なヘッドを必要とする経路に可能な限り割当てられるように、存在するあらゆる特別なヘッドの割当を偏向させるように構成される。特定の一例において、C H Mコア1 1 2は、優先順位の高いものから以下の条件で、すなわち、1)以前のパスに経路がまだ割当てられていない、2)可能な場合、特別なヘッドの各々に対し、当該ヘッドを必要とする経路が割当てられる、3)十分な数の特別なヘッドが利用できないことにより要求される場合を除き、ヘッド割当における間隙が回避される、という条件で、ヘッド割当を計算する。ここで「間隙」とは、割当てられた経路により取囲まれる、割当てられていない1つの非空き経路として定義される。C H Mコア1 1 2は、間隙の実例を減少させるように構成される。なぜなら、後のパスにおいてそれらを効率よく充填することが通常難しいためである。

20

30

**【0094】**

C H Mコア1 1 2はさらに、ヘッド割当を含むヘッド割当ファイル1 1 8を生成し得る。C H Mポストプロセッサ1 1 4は、ヘッド割当ファイル1 1 8および理想的な経路および表面モデル7 4にアクセスし、一般に、3 Dテープ経路と、それぞれの割当とを関連付ける。加えて、C H Mポストプロセッサ1 1 4は、さまざまな整理タスクを実行し、N Cポストにより読出され得るA P Tソースコードを書込む。この情報は、配置のパスのファイル7 6のシーケンスの生成に利用される。

**【0095】**

コースヘッド管理プログラム2 0の利点は、複合品の製作のセットアップ時において、ユーザの時間および費用が著しく削減される点である。これまでに、M H T L M等のマルチ送出ヘッド貼合せ機械に対して経路を割当てることのできる、コンピュータ化されたシステムは存在していない。したがって、従来システムにおいて、技師または他のユーザは、ヘッドの割当を手動で決定するために多大な時間を費やさなければならなかった。これらの割当におけるどのようなエラーも、敷設効率の悪さ、および/またはM H T L Mおよび/または製造ツールに対する損傷を生じ得る。この点において、コースヘッド管理プログラム2 0の別の利点は、敷設効率が改善され、割当エラーが減少する点である。たとえば、コースヘッド管理プログラム2 0は、ユーザよりも迅速かつ正確に、より多くの因子、制約、および/または機能を考慮することができる。

40

50

## 【 0 0 9 6 】

コースヘッド管理プログラム 20 のさらに別の利点は、ヘッド割当が、ユーザが評価するための視覚的なフォーマットでモデリングされおよび/またはシミュレートされ、表示され得る点である。すなわち、実行可能なヘッド割当を決定した後に、レンダリングされた静止画像および/または動画が、たとえばヘッド配置視覚化装置 60 によりユーザに表示され得る。この態様で、ユーザには、ヘッド割当を評価するための、相対的に迅速かつ高効率の生成物が提供される。

## 【 0 0 9 7 】

図 6 は、複合部品プログラムを生成するために実行され得るステップのシーケンスを示すフロー図である。このプロセスは、ステップナンバー 120 の「CAD データを受取る」に進むことによって開始し得る。ここでは、複合部品プログラム生成器が、CAD システムから複合部品の定義を受取り、特定の CAD システムに一意であり得る、受取られた複合部品の定義データフォーマットを、経路生成器との互換性を有するフォーマットに変換することができる。たとえば、上で説明したように、ステップ 122 の「表面の定義を作成する」において、複合部品プログラム生成器は、製造ツールまたは複合部品の完全な表面定義を含む第 1 のデータファイルを作成することができ、ステップ 124 の「プライの定義を作成する」において、複合部品プログラム生成器は、複合部品を形成するさまざまなプライについてのプライの定義を含む第 2 のデータファイルを作成することができる。

10

## 【 0 0 9 8 】

次に当該処理は、「機械に依存しない経路を生成する」に続き得る。ここで、複合部品プログラム生成器は、上述のように経路を定義することができ、複合材料貼付け機械に関連付けられた複合材料貼付けヘッドは、この経路を辿って製造ツールの表面全体またはこれまでのプライの表面全体にわたり、複合材料を貼付けて、複合部品を形成することができる。さらに上で説明したように、複合部品プログラム生成器は、ステップ 122 および 124 で作成された製造ツール表面およびプライの境界の定義を使用して、経路を生成することができる。加えて、上で説明したように、テープ敷設機械の場合、個々のテープコースは、経路と層の境界との交差点に基づいて定義され得る。

20

## 【 0 0 9 9 】

図 7 は、ステップ 126 において機械に依存しない経路を生成するために実行され得る詳細なステップのシーケンスを示すフロー図である。複合部品プログラム生成器は、製造ツール表面の定義に基づき、ステップ 138 の「プライのシードポイントを選択する」において、2D 表面上のプライの境界内において、所与のプライに対する経路の生成を開始すべき適切な開始ポイントを選択することができる。この選択は、シーケンスのうちの各定義されたプライに対して実行され得る。

30

## 【 0 1 0 0 】

次に、ステップ 140 の「経路をレイアウトする」において、複合部品プログラム生成器は、表面の定義およびプライの定義に基づき、基準面上に平行な経路をレイアウトして、材料片と材料片との間のあらゆる所望される間隙を考慮しつつ、複合材料の公称幅に基づき、表面全体を被覆することができる。上で説明したように、この複合部品プログラム生成器は、製造ツールの表面およびプライの定義を解析して、複合材料貼付け経路を生成することができ、その一方で、隣接する経路間のどのような間隙も、または、隣接する経路のどのような重複も、間隙の規格または仕様確実に適合するようにする。これらの経路はさらに、表面の形状に応じて最適化され得る。

40

## 【 0 1 0 1 】

次に、ステップ 142 の「2D 基準面を選択する」において、複合部品プログラム生成器は、適切な二次元の基準面を決定して、製造ツールの表面または複合部品の表面を表わすことができる。たとえば、複合部品プログラム生成器は、数学関数によって容易にモデリングされ得る単純化された表面か、または、複合部品の表面のより複雑な製造ツールを表わすための 1 組の数学関数を選択することができる。この場合、製造ツールまたは複合

50

部品の表面は、単純化された表面上に投影され得、この単純化された表面は、「広げられる」か、またはならされて、最初に経路がレイアウトされる代表的な2D表面を作成する。

#### 【0102】

複合テーブラミネーション機械プログラムの場合、プライの境界と経路との交差点に基づき、ステップ144の「2Dテープコースを描く」において、複合部品プログラム生成器は、当該シーケンスの各プライの境界内の各経路に対応する二次元のテープコースを描くことができる。ステップ146の「2Dのテープ切断を定義する」では、複合部品プログラム生成器はさらに、プライの境界と経路との交差点に基づき、個々のテープコースの形成に必要とされる正確なテープ切断パターンの範囲を定めることができる。

10

#### 【0103】

2Dコースをレイアウトした後に、ステップ148の「3D表面に変形する」において、複合部品プログラム生成器は、実際の3Dの製造ツールまたは複合部品の表面に関し、当該経路を再定義することができる。上で説明したように、この変形は、たとえば、基準面を作成するのに使用された関数に基づいて、逆関数を2Dデータに適用することにより行なわれ得る。最後に、ステップ150の「表面を更新する」において、複合部品プログラム生成器は、表面の定義を更新して、当該シーケンスにおける各プライの区域に加えられた複合材料の厚さを追加することができ、それにより、以降のシーケンス用に定義された3D経路およびテープコースが、現在のシーケンスの表面全体に位置付けられ得る。

#### 【0104】

再び図6を参照すると、機械に依存しない経路がステップ126において生成された後に、制御は、ステップ128の「機械に固有の経路を生成する」に進み得る。ここで、複合部品プログラム生成器は、機械に依存しない経路を、特定の種類の複合材料貼付け機械の特定のツールキャリッジパスに関連付けられた特定の送出ヘッドに割当てて、機械に固有の経路を生成することができる。上述のように、複合部品プログラム生成器は、機械に固有の最適化を実行して、最も効率のよい複合材料貼付けの、ヘッド-経路割当を決定することができる。

20

#### 【0105】

図8は、ステップ128において機械に固有の経路を生成するために実行され得る詳細なステップのシーケンスを図示するフロー図である。定義されたプライの配向と、(対応する経路に沿った2方向の各々における)製造ツール表面を基準としたツールキャリッジの移動方向とに基づき、ステップ152の「配置の構成を解明する」において、複合部品プログラム生成器は、プライの配向またはファイバの配向と、ツールキャリッジの移動方向との各組合せに対応する複合材料貼付けヘッドの配置の構成を定義することができる。

30

#### 【0106】

次に、ステップ154の「3D経路を解析する」において、複合部品プログラム生成器は、機械に依存しない経路の各々の3D形状を解析して、どの経路が、可能性として、専用送出ヘッドの特別な機能を必要としているかを求めることができる。次に、上でさらに説明したように、ステップ156の「2D論理経路を作成する」において、複合部品プログラム生成器は、経路の3D形状に基づいて2D表現を構築して、等間隔を有する論理的経路の順序集合を作成することができる。

40

#### 【0107】

その後、ステップ158の「専用ヘッド経路を割当てる」において、複合部品プログラム生成器は、機械に固有の最適化を実行して、最も効率のよい複合材料貼付けのヘッド-経路割当を決定することができ、また、特別な複合材料貼付けヘッドの機能を必要とする経路を、ツールキャリッジの特定のパスの固有の専用ヘッドに割当てることができる。上述のように、複合部品プログラム生成器は、「貪欲な最適化」を適用して、専用ヘッドの最も効率のよい割当を決定することができる。

#### 【0108】

次に、ステップ160の「標準的なヘッド経路を割当てる」において、複合部品プログ

50

ラム生成器は、機械に固有のさらに別の最適化を実行し、また、標準的な複合材料貼付けヘッドに経路を割当てることができる。次に、ステップ162の「ツールキャリッジのパスに経路を関連付ける」において、複合部品プログラム生成器は、製造ツールの表面全体にわたる特定のツールキャリッジパスに経路の各々を割当てるか、または関連付けることができる。いくつかの実施例において、ステップ158、160および162は、たとえば、個々のステップの反復により同期されて、複合材料貼付けヘッドの最も効率のよい全体的な割当てを生じ得る。複合部品プログラム生成器は、ヘッド-経路割当てを決定した後に、ステップ164の「3D経路を関連付ける」において、3D経路を、それぞれの2D複合材料貼付けヘッドおよびツールキャリッジパスの割当てに関連付けることができる。

#### 【0109】

その後、ステップ166の「配置の通路を描く」において、複合部品プログラム生成器は、配置の通路を描くことができる。たとえば上で説明したように、複合部品プログラム生成器は、ツールキャリッジパスに関して割当てられた経路を有する複合材料貼付けヘッドの各々に関し、理想的な配置の通路を決定することができ、理想的な経路の組に基づき、中央配置の通路を決定し、結果的に得られたこれらの配置の通路を接続して、連続する一連の方向通路か、または1つの連続する通路にすることができる。次に、ステップ168の「ヘッドの相対経路を決定する」において、複合部品プログラム生成器は、個々の経路を配置の通路に関連付ける複合材料貼付けヘッドの各々についての相対経路を定義することができる。

#### 【0110】

再び図6を参照すると、制御は、ステップ130の「機械軸の位置を計算する」に進む。ここで、複合部品プログラム生成器は、機械軸の解を決定し、相対経路に基づき、ツールキャリッジを基準とした個々のヘッドの運動を制御し、ツールキャリッジの運動を制御し、製造ツールの運動を制御することができる。たとえば上述のように、複合部品プログラム生成器は、代表的な機械の運動学的論理を実践して、配置の通路のポイント、個々の経路のポイント、および製造ツールの表面または更新された表面法線データに基づき、複合材料貼付けヘッドの機械軸の位置の解を生じることができる。したがって、上で説明したように、複合材料貼付けヘッド、ツールキャリッジおよび製造ツールについての機械軸の解は、密接に同期され得る。加えて、複合部品プログラム生成器は、機械軸の限度が常に守られていることを検証し、また、すべての複合材料貼付けヘッドの位置をチェックして、ヘッドのモーション経路に衝突が絶対に生じないようにすることができる。

#### 【0111】

次に、ステップ132の「CNC出力ファイルに書込む」において、上で説明したように、複合部品プログラム生成器は、特定の複合材料貼付け機械とともに使用されるCNCコントローラとの互換性を有するデータフォーマット、たとえばシーメンス840D曲線テーブルのフォーマットで、機械軸の解の結果を含む1組の出力ファイルからなる複合部品プログラムを作成することができる。次に、ステップ134の「シミュレーション出力ファイルを書込む」において、複合部品プログラム生成器は、シミュレーションデータフォーマットにおける機械軸の位置データの時間ベースのサンプリングを含む、1組の補足的な出力ファイルを任意に作成することができる。

#### 【0112】

後にステップ136の「機械をシミュレートする」において、複合部品プログラム生成器は、多数の機械軸を有する多数の複合材料貼付けヘッドを含む、複合材料貼付け機械の動作をシミュレートすることができる。たとえば、上で述べたように、複合部品プログラム生成器は、物理機械をモデリングし、CNCコントローラの機能を再現し、周期情報を生成して、機械の衝突回避および処理の改善を容易にすることができる。

#### 【0113】

図1、3、4、5、6、7および8は、この発明のさまざまな実施例による方法、装備、およびコンピュータプログラムプロダクトのブロック図およびフロー図である。ブロック図の各ブロックまたはステップ、フロー図および制御フローの例示、ならびに、ブロッ

10

20

30

40

50

ク図、フロー図、および制御フローの例示におけるブロックの組合せが、コンピュータプログラム命令または他の手段により実施され得ることが理解されるであろう。コンピュータプログラム命令が論じられているが、この発明に従った装置は、他の手段、たとえば、開示された機能を実行するために1つ以上のプロセッサまたはコントローラを含む、ハードウェアか、またはハードウェアおよびソフトウェアの何らかの組合せを含み得る。

**【0114】**

この点において、図1は、この発明の一実施例が実施され得る汎用コンピュータの重要な構成要素のいくつかを含む一実施例の装置を示す。コンピュータが図1に示すものよりも多くの構成要素を含み得ることを、当業者は理解するであろう。しかしながら、この発明を実現するための例示的な実施例を開示するために、通常これまで使用されてきたこれらの構成要素のすべてを示す必要はない。汎用コンピュータは、処理ユニット12と、システムメモリ14とを含み得、システムメモリ14は、ランダムアクセスメモリ(RAM)および読出専用メモリ(ROM)を含み得る。コンピュータはまた、ハードディスクドライブ等の不揮発性記憶装置も含み得、ここに追加データが格納され得る。

10

**【0115】**

この発明の一実施例は、マウス、キーボード、モニタ等の1つ以上の入力または出力装置28も含み得る。ユーザによる特定の動作の要求を可能にするユーザインターフェイスに加え、テキストおよびグラフィカルデータを視認するためのディスプレイが設けられ得る。さらに、この発明の一実施例は、ネットワークインターフェイスを介して1つ以上の遠隔コンピュータに接続され得る。この接続は、ローカルエリアネットワーク(LAN)またはワイドエリアネットワーク(WAN)によるものであり得、このような接続に必要な回路のすべてを含み得る。この発明の一実施例において、文書の収集は、インターネット(Internet)を介して受信された文書を含む。ローカル文書収集、すなわち1つのコンピュータ上におけるすべての文書、ネットワーク環境内のサーバまたはクライアントに格納された文書等を含む、他の実施例が可能である。

20

**【0116】**

一般に、コンピュータプログラム命令は、コンピュータまたは他の汎用プログラム可能機械にロードされて、当該コンピュータまたは他のプログラム可能機械で実行された命令が、ブロック図、概略図、またはフロー図で指定された機能を実行するための手段を生成するように、専用機械を生じ得る。このようなコンピュータプログラム命令は、コンピュータ可読媒体にも格納され得る。このコンピュータ可読媒体は、コンピュータまたは他のプログラム可能な機械にロードされると、コンピュータ可読媒体に格納された命令が、ブロック図、概略図、またはフロー図に指定された機能を実行する命令手段を含む製造品を生じるよう、機械を特定の態様で機能するように仕向けることができる。

30

**【0117】**

加えて、コンピュータプログラム命令は、コンピュータまたは他のプログラム可能機械にロードされて、コンピュータまたは他のプログラム可能機械により一連の動作ステップが実行されるようにして、コンピュータまたは他のプログラム可能機械で実行される命令が、ブロック図、概略図、フロー図のブロック、またはステップに指定された機能を実行するためのステップを提供するように、コンピュータ実施プロセスを生じ得る。

40

**【0118】**

したがって、ブロック図のブロックまたはステップ、フロー図または制御フローの例示は、指定された機能を実行するための手段の組合せ、指定された機能を実行するためのステップの組合せ、および指定された機能を実行するためのプログラム命令手段をサポートする。ブロックまたはステップの組合せに加え、ブロック図、概略図、またはフロー図の各ブロックもしくはステップが、特殊目的のハードウェアベースのコンピュータシステムか、または、特殊目的のハードウェアと、指定された機能もしくはステップを実行するコンピュータ命令との組合せにより実行され得ることも理解されるであろう。

**【0119】**

例示の目的のためだけに提供される一例として、サーチエンジンアプリケーションのデ

50

ータ入力ソフトウェアツールは、1つ以上の検索語を含むクエリを受取るための代表的な手段であり得る。アプリケーションの同様のソフトウェアツール、または、この発明の実施例の実現例は、指定された機能を実行するための手段であり得る。たとえば、この発明の一実施例は、ユーザにより制御される入力装置、たとえばマウス、キーボード、タッチスクリーンディスプレイ、スキャナ等に処理要素を連携させるためのコンピュータソフトウェアを含み得る。同様に、この発明の一実施例の出力は、たとえば、ディスプレイソフトウェア、ビデオカードハードウェア、およびディスプレイハードウェアの組合せを含み得る。処理要素は、たとえば、コントローラまたはマイクロプロセッサ、たとえば中央処理装置(CPU)、算術論理演算装置(ALU)、または制御装置を含み得る。

#### 【0120】

詳細な明細書から、この発明の多くの特徴および利点が明らかであろう。したがって、この発明の真の精神および範囲内にあるこの発明のすべてのこのような特徴および利点が前掲の請求項により包含されることが意図される。さらに、当業者ならば多数の変形および変更を容易に思い付くことが考えられるため、例示および記載された構成および動作そのものにこの発明を限定することは望ましくなく、適切な変形および等価物のすべてが、この発明の範囲内に入る限り使用され得る。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0121】

【図1】この発明の実施例の機能を実行するのに好適なタイプの複合部品プログラム生成器を図示するブロック図である。

【図2】この発明の好ましい実施例によってプログラムされ得る指定された複合材料貼付け経路およびテープコースを示す大型で概して円筒形の複合部品を図示する斜視図である。

【図3】この発明の実施例によるヘッド割当およびシミュレーションモジュールについてのシステムアーキテクチャのブロック図である。

【図4】図3の実施例による、ヘッドの運動を割当て、シミュレートするために辿られ得るステップを図示するフロー図である。

【図5】この発明の実施例による、それぞれのコースに送出ヘッドを割当てるためのコースヘッド管理プログラムのシステム図である。

【図6】図5の方法で機械に依存しない経路を生成するために辿られ得るステップを図示するフロー図である。

【図7】図5の方法で機械に固有の経路を生成するために辿られ得るステップを図示するフロー図である。

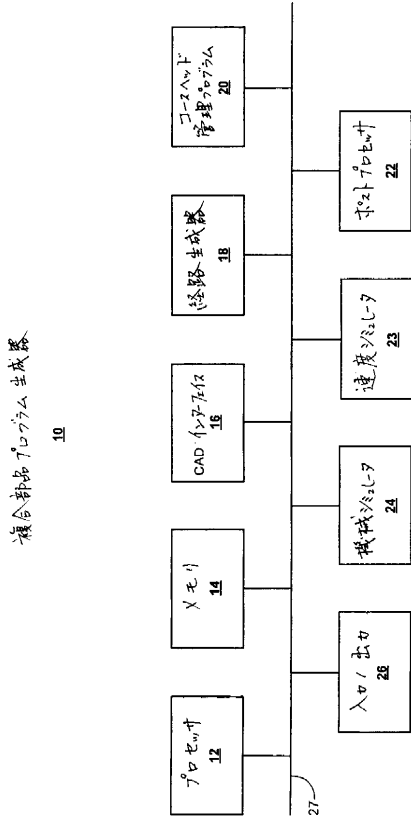
【図8】図7による、機械に固有の経路を生成するために実行され得る詳細なステップのシーケンスを図示するフロー図である。

#### 【符号の説明】

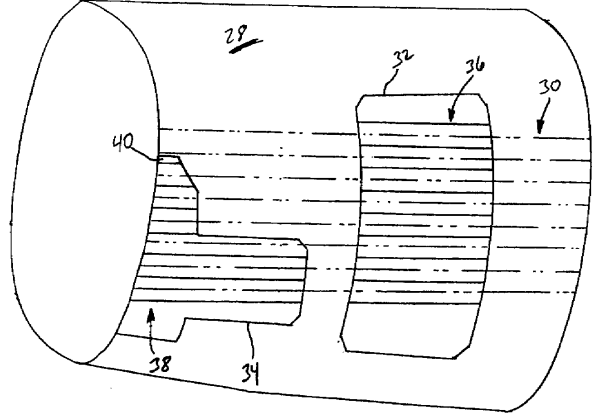
#### 【0122】

10 複合部品プログラム生成器、12 プロセッサ、14 メモリ、16 CADインターフェイス、18 経路生成器、20 コースヘッド管理プログラム、22 ポストプロセッサ、23 速度シミュレータ、24 機械シミュレータ、26 入力/出力。

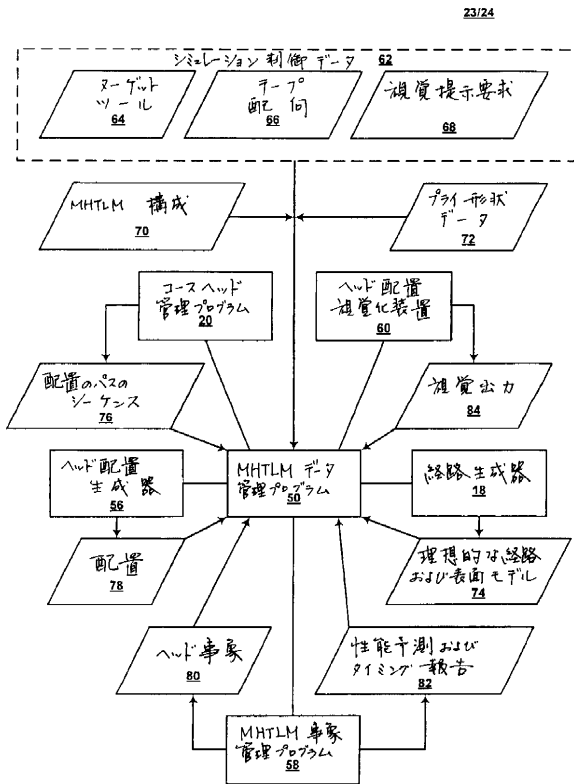
【図1】



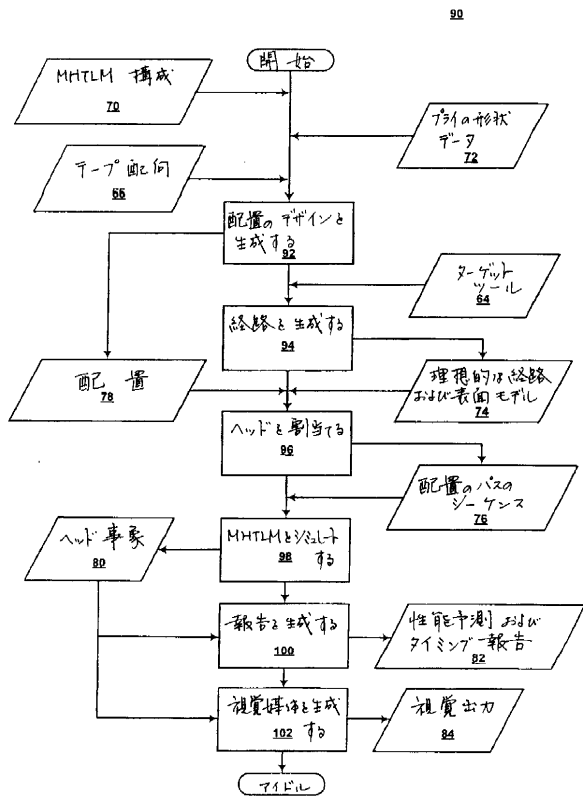
【図2】



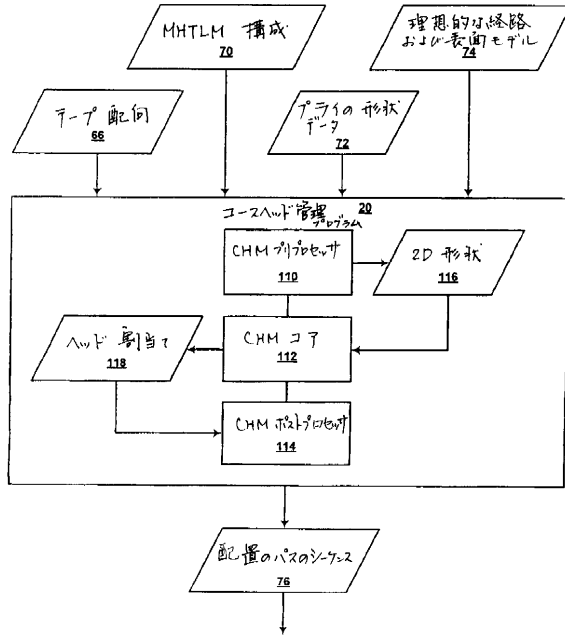
【図3】



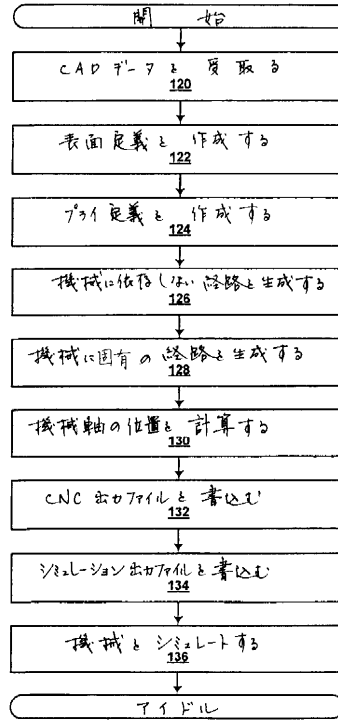
【図4】



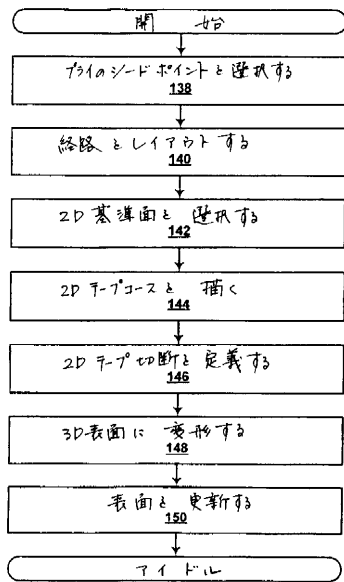
【図5】



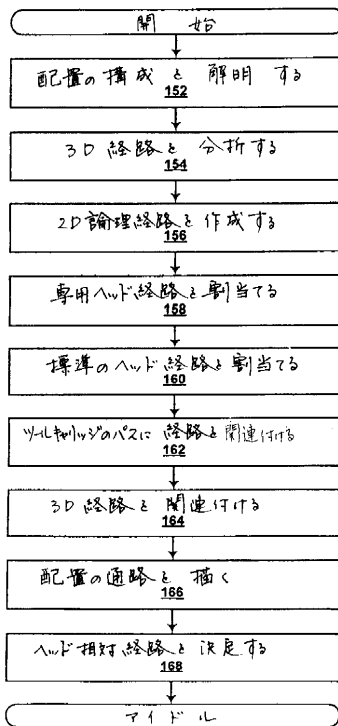
【図6】



【図7】



【図8】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ティモシー・エフ・スー

アメリカ合衆国、94306 カリフォルニア州、パロ・アルト、マタデロ・アベニュー、760

審査官 松浦 陽

(56)参考文献 特開2001-282331(JP, A)

国際公開第2005/018917(WO, A1)

Howard B. Olsen,; Jhon J. Craig, Silma, Automated Composite Tape Lay-up using Robotic Devices, Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation 1993, 米国, IEEE, 1993年 5月 2日, vol.3, pp. 291-297

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05B 19/18 - 19/46

B23Q 15/00 - 15/28