

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6363848号
(P6363848)

(45) 発行日 平成30年7月25日(2018.7.25)

(24) 登録日 平成30年7月6日(2018.7.6)

(51) Int. Cl.	F I
C 2 2 F 1/10 (2006.01)	C 2 2 F 1/10 G
B 6 4 C 13/24 (2006.01)	B 6 4 C 13/24
C 2 2 F 1/00 (2006.01)	C 2 2 F 1/00 6 3 0 L
	C 2 2 F 1/00 6 9 4 Z
	C 2 2 F 1/00 6 3 1 Z
請求項の数 12 外国語出願 (全 33 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号 特願2014-27319 (P2014-27319)
 (22) 出願日 平成26年2月17日(2014.2.17)
 (65) 公開番号 特開2016-104893 (P2016-104893A)
 (43) 公開日 平成28年6月9日(2016.6.9)
 審査請求日 平成29年2月10日(2017.2.10)
 (31) 優先権主張番号 13/778,093
 (32) 優先日 平成25年2月26日(2013.2.26)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 500520743
 ザ・ボーイング・カンパニー
 The Boeing Company
 アメリカ合衆国、60606-2016
 イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
 (74) 代理人 100109726
 弁理士 園田 吉隆
 (74) 代理人 100101199
 弁理士 小林 義教
 (72) 発明者 ブラウン、 ジョナサン ケー。
 アメリカ合衆国 ワシントン 98058
 , レントン, 140番 ウェイ サウ
 スイースト 15205, アパートメン
 ト エフ302

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 形状記憶合金構造体のためのシステム及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

形状記憶合金(SMA)加工対象物に平面的な変態挙動を与えて、トレーニング処理された形状記憶合金(SMA)加工対象物を得るため、形状記憶合金(SMA)加工対象物に偶力を印加することを含む方法。

【請求項2】

前記偶力を印加することは、
 エッジ方向のラッキング荷重が前記SMA加工対象物に印加されること；
 波様変形が前記SMA加工対象物で生成されること；又は
 非波状波様変態挙動が前記SMA加工対象物に与えられること
 のうちの少なくとも1つが起こるように対向する力を印加することを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記SMA加工対象物に熱サイクルを印加すること；及び
 前記SMA加工対象物が平面的な変態挙動を有するようにするため、循環的な方法で前記偶力を印加することによって、平面的な歪みサイクルを前記SMA加工対象物に与えること
 をさらに含む、請求項1に記載の方法。

【請求項4】

前記熱サイクルを印加することは、前記SMA加工対象物の形状を矩形の形状から平行

四辺形の形状に変化させるラッキング運動を生成するため、前記 S M A 加工対象物に熱を印加することを含む、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

平面的な変態挙動を有する少なくとも 1 つのトレーニング処理された S M A 加工対象物を備える構造体の製造方法であって、前記少なくとも 1 つのトレーニング処理された S M A 加工対象物は請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の方法を使用してトレーニング処理され、前記構造体が前記少なくとも 1 つのトレーニング処理された S M A 加工対象物の温度変化に応答して適合可能となるように前記少なくとも 1 つのトレーニング処理された S M A 加工対象物を前記構造体に結合させることを含む、製造方法。

【請求項 6】

前記構造体は、航空ビークル内に構造桁を備える、請求項 5 に記載の製造方法。

【請求項 7】

前記構造桁は閉じられた断面を有し、互いに対向するように配置された少なくとも 2 つのトレーニング処理された形状記憶合金 (S M A) 加工対象物を含む、請求項 6 に記載の製造方法。

【請求項 8】

加工を実施することができるシステムであって、

平面的な変態挙動を示す形状記憶合金 (S M A) アクチュエータ ; 及び

前記 S M A アクチュエータを元の形状からトレーニング処理された形状に変態させることによって加工を実施するための一又は複数の加熱素子を含むシステム。

【請求項 9】

前記形状記憶合金 (S M A) アクチュエータは、前記平面的な変態挙動を示すトレーニング処理された形状記憶合金 (S M A) 加工対象物をさらに備える、請求項 8 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記形状記憶合金 (S M A) アクチュエータは、トレーニング処理された形状記憶合金 (S M A) 加工対象物をさらに備え、前記トレーニング処理された S M A 加工対象物は、S M A 加工対象物に偶力を印加することによってトレーニング処理され、前記 S M A 加工対象物に前記平面的な変態挙動を与える、請求項 8 に記載のシステム。

【請求項 11】

前記システムは運動を与え、これによって加工を実施することができる、請求項 8 に記載のシステム。

【請求項 12】

荷重印加デバイス及び温度制御システムを有するトレーニング処理装置アセンブリをさらに備え、前記荷重印加デバイスは前記 S M A アクチュエータにエッジ方向のラッキング荷重を印加し、前記温度制御システムは前記一又は複数の加熱素子を制御して前記 S M A アクチュエータに温度変動を印加し、前記 S M A アクチュエータの形状を、矩形の形状を含む前記元の形状から、平行四辺形の形状を含む前記トレーニング処理された形状に変化させるラッキング運動を生成する、請求項 8 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は概して、形状記憶合金 (S M A) がサイクル処理されるとき、すなわち変態するとき、S M A がラッキング運動を行うように、S M A 材料を処理するための方法及びシステムに関する。本開示はさらに、ラッキング運動を与えられた形状記憶合金を有する機械的アクチュエータ、及び翼などの構造体の形状に作用する、又は形状を撓ませる機械的アクチュエータを使用する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

10

20

30

40

50

様々な飛行段階において、航空機の翼、回転翼航空機のローターブレード、又は他の空気学的表面など、航空ビークルの空気学的表面を制御可能にねじる、曲げる、又は変形させる能力は、航空ビークルの性能を大幅に高めることができる。航空機の翼、回転翼航空機のローターブレード、又は他の空気学的表面をねじる、曲げる、又は変形させるように設計されている、既知の機械式及び/又は電磁式アクチュエータの実装の限界は、この目的に使用されるアクチュエータ又は他のデバイスが、翼、ローターブレード、又は他の空気学的表面を形成するためには、材料固有の構造強度に打ち勝たなければならないことである。

【0003】

形状記憶合金(SMA)から成り、航空ビークルで使用するよう設計されたアクチュエータ及びアクチュエータシステムコンポーネントはよく知られている。形状記憶合金(SMA)は、興味深い熱的特性及び機械的特性を有する金属群である。形状記憶合金は、いくつかの注目すべき温度依存性の相の1つに存在しうる。最も一般的に使用されるこれらの相は、いわゆるマルテンサイト相及びオーステナイト相である。変態温度を通過して形状記憶合金を加熱すると、形状記憶合金は、マルテンサイト相からオーステナイト相へと変化する。たとえば、形状記憶合金材料ニチノールから成るコンポーネントは、マルテンサイト状態(低降伏強度条件)の間に変形され、次いで、形状記憶合金材料のコンポーネントがその元の(非変形)形状を取り戻すオーステナイト状態に到達するその転移温度まで加熱される。元の形状に戻る速度は、コンポーネントに印加される熱エネルギーの量及び速度に依存する。コンポーネントから熱が取り除かれると、コンポーネントが再度変形可能となるマルテンサイト状態に戻る。

【0004】

SMAアクチュエータ及び構造体の熱-機械的処理の既知の限界は、軸方向歪み、曲げ歪み、ねじり歪みを含みうる。さらに、既知のアクチュエータに関する既知のSMAアクチュエータシステムコンポーネントは、引張によってトレーニング処理されるSMAワイヤ、及び曲げによってトレーニング処理されるSMAプレートを含みうる。しかしながら、既知のSMAアクチュエータシステムによる表面のアクチュエーションすなわち形状制御は、制御が困難になることがある。しかも、このような既知のSMAアクチュエータシステムコンポーネントの形状及びサイズは、既知のアクチュエータ又は他の種類のSMAアクチュエータに一体化することが困難になることがある。

【0005】

加えて、既知のSMAアクチュエータは、空気学的表面に沿って一又は複数の離れた位置に力とトルクを印加し、ねじりによってトレーニング処理されるSMAツイストチューブアクチュエータを含みうる。このような既知のSMAツイストチューブアクチュエータのSMA材料は、ツイストチューブアクチュエータが元の形状からトレーニング処理された形状にねじれ、トレーニング処理された形状のねじれを元に戻すことができる、双方向形状記憶効果を有することができる。しかしながら、このような既知のSMAツイストチューブアクチュエータは、荷重時の固有の回転位置を維持するため各SMA部材の加熱素子に連続的に印加される電力を要する2つSMAツイストチューブコンポーネントを必要とすることがある。これにより、過大な電力が必要となるだけでなく、システムは重く複雑になる。

【0006】

したがって、当技術分野において既知の方法及びシステムを上回る利点をもたらす形状記憶合金(SMA)のための改善された方法及びシステムが必要となっている。

【発明の概要】

【0007】

形状記憶合金(SMA)構造体のための改善された方法及びシステムに対する必要性が満たされる。以下の詳細な記載で説明されるように、航空ビークルで使用される形状記憶合金(SMA)構造体のための改善された方法及びシステムの実施形態は、既知のデバイス、方法、及びシステムを上回る大幅な利点をもたらすことができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 8 】

本開示の一実施形態では、形状記憶合金（SMA）加工対象物をトレーニング処理する方法が提供される。この方法は、SMA加工対象物に概して平面的な変態挙動を与えて、トレーニング処理された形状記憶合金（SMA）加工対象物を得るため、SMA加工対象物に偶力を印加することを含む。

【 0 0 0 9 】

本開示の別の実施形態では、加工を実施することができるトレーニング処理システムが提供される。トレーニング処理システムは、概して平面的な変態挙動を示す形状記憶合金（SMA）アクチュエータを備える。トレーニング処理システムは、元の形状からトレーニング処理された形状にSMAアクチュエータを変態させることによって加工を実施するための、一又は複数の加熱素子をさらに備える。

10

【 0 0 1 0 】

本開示の別の実施形態では、構造体が提供されている。構造体は、概して平面的な変態挙動を有する少なくとも1つのトレーニング処理された形状記憶合金（SMA）加工対象物を備える。少なくとも1つのトレーニング処理されたSMA加工対象物が構造体に結合される。構造体は少なくとも1つのトレーニング処理されたSMA加工対象物の温度変化に応じて適応可能である。

【 0 0 1 1 】

既に説明した特徴、機能及び利点は、本発明の様々な実施形態で独立に実現することが可能であるか、以下の説明及び図面を参照してさらなる詳細が理解されうる、さらに別の実施形態で組み合わせることが可能である。

20

【 0 0 1 2 】

本開示は、好適且つ例示的な実施形態を示す添付図面と併せて、以下の詳細な説明を参照することでよりよく理解されるが、これらの図面は必ずしも正確な縮尺で描かれているわけではない。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 3 】

【図1】本開示の方法の実施形態の1つによってトレーニング処理された形状記憶合金（SMA）アクチュエータの実施形態を組み込みうる既知の航空機の斜視図の図解である。

【図2】本開示の方法の実施形態の1つによってトレーニング処理されたSMAアクチュエータの実施形態を組み込みうる既知の回転翼航空機の斜視図の図解である。

30

【図3A】本開示のSMA加工対象物の一実施形態の拡大平面透視図の図解である。

【図3B】本開示のトレーニング処理されたSMA加工対象物の一実施形態の拡大平面透視図の図解である。

【図4】本開示の方法の実施形態の1つで使用されうるトレーニング処理装置アセンブリの斜視図の図解である。

【図5】本開示のトレーニング処理されたSMAアクチュエータ及び温度制御システムの一実施形態の拡大平面透視図の図解である。

【図6】本開示のトレーニング処理装置アセンブリの設置に先立って複合材構造体に結合されたSMAアクチュエータの一実施形態の拡大平面図の図解である。

40

【図7A】本開示のトレーニング処理変形例の一実施形態の平面図の図解である。

【図7B】本開示のトレーニング処理変形例の別の実施形態の平面図の図解である。

【図7C】本開示のトレーニング処理変形例のさらに別の実施形態の平面図の図解である。

。

【図7D】本開示のトレーニング処理変形例のさらに別の実施形態の平面図の図解である。

。

【図7E】本開示のトレーニング処理変形例のさらに別の実施形態の平面図の図解である。

。

【図7F】本開示のトレーニング処理変形例のさらに別の実施形態の分解側面図の図解である。

50

【図 7 G】本開示の図 7 F のトレーニング処理変形例の組立側面図の図解である。

【図 8 A】本開示の方法の実施形態の 1 つによってトレーニング処理された S M A アクチュエータの実施形態を有する形状記憶合金 (S M A) アクチュエータアセンブリの拡大斜視図の図解である。

【図 8 B】構造桁に一体化された図 8 A の S M A アクチュエータアセンブリの拡大斜視側面図の図解である。

【図 8 C】熱電モジュール (T E M) を示す図 8 A の点線円 8 C の拡大斜視図の図解である。

【図 8 D】熱コネクタを示す図 8 A の点線円 8 D の拡大部分斜視図の図解である。

【図 9 A】複合材構造体の実施形態の 1 つの拡大部分図、並びに本開示の方法の実施形態の 1 つによってトレーニング処理された S M A アクチュエータの図解で、構造桁に機械的に取り付けられ一体化される前の状態が示されている。

【図 9 B】構造桁への機械的な取り付け及び一体化時に示された、図 9 A の複合材構造体及びトレーニング処理された S M A アクチュエータの拡大部分図の図解である。

【図 9 C】構造桁への機械的な取り付け及び一体化後に示された、図 9 A の複合材構造体及びトレーニング処理された S M A アクチュエータの側面図の図解である。

【図 1 0】本開示の波状 S M A アクチュエータの実施形態の拡大平面図の図解である。

【図 1 1】本開示の方法の実施形態の 1 つで使用されうるトレーニング処理システムのブロック図である。

【図 1 2】S M A 加工対象物のトレーニング処理方法について本明細書で開示されている実施形態の 1 つのフロー図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 4 】

以降、添付図面を参照して本開示の実施形態についてさらに詳細に説明するが、添付図面には開示されるすべての実施形態が示されているわけではない。実際には、複数の異なる実施形態が提供可能であり、これらの実施形態は、本明細書で説明される実施形態に限定されると解釈されるべきではない。むしろ、これらの実施形態は、この開示内容が徹底的且つ完全であり、当業者に本開示の範囲が十分に伝わるように、提示される。

【 0 0 1 5 】

ここで図面を参照すると、本明細書に開示されている実施形態では、複合材構造体 1 6 5 (図 6 、 8 B 、 9 C 参照) などの構造体 1 6 4 (図 6 、 8 B 、 9 C 参照) への結合に関して、トレーニング処理された S M A アクチュエータ 6 2 a (図 3 B 参照) などの形態にあるトレーニング処理された形状記憶合金 (S M A) 加工対象物 6 0 a (図 3 B 参照) を得るため、形状記憶合金 (S M A) アクチュエータ 6 2 (図 3 B 参照) などの形態にある「形状記憶合金」(「S M A」)加工対象物 6 0 (図 3 A 参照) をトレーニング処理する方法 3 0 0 (図 1 2 参照) が提示されている。トレーニング処理された S M A アクチュエータ 6 2 a は、機械的、構造的、熱 - 機械的、熱 - 構造的、電気 - 熱 - 機械的、及び電気 - 熱 - 構造的なシステムの様々な構造体 1 6 4 に結合又は一体化されることがある。

【 0 0 1 6 】

図 1 は、本開示のトレーニング処理された S M A アクチュエータ 6 2 a (図 3 B 参照) の実施形態を包含しうる、航空機 1 1 などの航空ビークル 1 0 の斜視図を示したものである。図 1 に示すように、航空機 1 1 は、胴体 1 2、胴体 1 2 に取り付けられた翼 1 4、1 6、一又は複数の推進ユニット 1 8、及び尾部 2 0 を含む。各翼 1 4 及び 1 6 は、上方翼外板 2 2、下方翼外板 2 4、翼付け根 2 6、翼端 2 8、並びに上方翼外板 2 2 と下方翼外板 2 4 との間の少なくとも 1 つの構造桁 3 0 を有する。本明細書で使用されているように、「構造桁」は一又は複数の荷重を支える能力を有する細長い構造部材を意味する。

【 0 0 1 7 】

図 2 は、トレーニング処理された S M A アクチュエータ 6 2 a (図 3 B 参照) の実施形態を包含しうる、ヘリコプターの形態にある回転翼航空機 3 4 などの航空ビークル 1 0 の斜視図を示したものである。図 2 に示すように、回転翼航空機 3 4 は、胴体 3 6、尾部支

10

20

30

40

50

材 3 8、及びハブ 4 2 に結合された複数のローターブレード 4 0 を含む。各ローターブレード 4 0 は、ブレード付け根 4 6 からブレード先端 4 8 に延在する少なくとも一つの構造桁 4 4 を含む。

【 0 0 1 8 】

航空機 1 1 (図 1 参照) 及び回転翼航空機 3 4 (図 2 参照) は一般的にトレーニング処理された S M A アクチュエータ 6 2 a (図 3 B 参照) の一又は複数の実施形態を包含する航空ビークル 1 0 の典型例であるが、本開示の実施形態の教示は他の航空ビークル及び他の種類のビークルに適用可能であることに加えて、本開示のトレーニング処理された S M A アクチュエータ 6 2 a (図 3 B 参照) の実施形態への結び付け又は包含に適した他の構造体にも適用可能である。

10

【 0 0 1 9 】

本開示の一実施形態では、形状記憶合金 (S M A) 加工対象物 6 0 (図 3 A 参照) をトレーニング処理する方法 3 0 0 (図 1 2 参照) が提供される。図 1 2 は、S M A 加工対象物 6 0 (図 3 A 参照) のトレーニング処理方法 3 0 0 について本明細書で開示されている実施形態の 1 つのフロー図である。図 1 2 に示すように、方法 3 0 0 は、S M A 加工対象物 6 0 に概して平面的な変態挙動 7 8 (図 1 1 参照) を与えて、トレーニング処理された形状記憶合金 (S M A) 加工対象物 6 0 a (図 3 B 参照) を得るため、S M A 加工対象物 6 0 (図 3 A 参照) に偶力 7 6 (図 1 1 参照) を印加するステップ 3 0 2 を含む。

【 0 0 2 0 】

本明細書で使用されているように、「偶力」は、例えば第 1 の対向する力 7 6 a (図 3 A 参照) と第 2 の対向する力 7 6 b (図 3 A 参照)、或いは印加力 2 4 4 (図 1 0 参照) と反作用力 2 4 6 (図 1 0 参照) のように、一対の対向する力であって、大きさがほぼ等しく、方向がほぼ向かい合っており、概して同一平面内にあり、ほぼ垂直な距離によって隔てられている対向する力を意味する。本明細書で使用されているように、「概して平面的な変態挙動」は、偶力が S M A 加工対象物 6 0 などの S M A 構造体に印加されたとき、S M A 加工対象物 6 0 などの形状記憶合金 (S M A) 構造体を変態させる、すなわちその形状を変える面内運動を意味する。

20

【 0 0 2 1 】

図 3 A は、本開示の S M A 加工対象物 6 0 の一実施形態の拡大平面透視図の図解である。図 3 B は、本開示のトレーニング処理された S M A 加工対象物 6 0 a の一実施形態の拡大平面透視図の図解である。本開示の一実施形態では、トレーニング処理された形状記憶合金 (S M A) 加工対象物 6 0 a (図 3 B 参照) が提供される。トレーニング処理された S M A 加工対象物 6 0 a は、S M A 加工対象物 6 0 (図 3 A 参照) を備える。S M A 加工対象物 6 0 は、形状記憶合金原材料 6 1 (図 3 A 参照) から作られている。好ましくは、S M A 加工対象物 6 0 は、シート又は細片の構成又は形状を有する形状記憶合金 (S M A) アクチュエータ 6 2 の形態にあり、より好ましくは、矩形 7 5 a (図 3 A 参照) のような平面的形状を有する形状記憶合金の形態にある。図 3 A に示すように、S M A 加工対象物 6 0 の形状は、矩形 7 5 a (図 3 B 参照) などの形態にある、元の形状 7 5 (図 3 B 参照) である。図 3 A に示すように、S M A 加工対象物 6 0 は、第 1 の端部 6 4、第 2 の端部 6 6、第 1 のエッジ 6 8、第 2 のエッジ 7 0、上面などの第 1 の面 7 2、及び底面などの第 2 の面 7 4 を備える。図 3 A と 3 B にさらに示すように、S M A 加工対象物 6 0 に概して平面的な変態挙動 7 8 (図 1 1 参照) を与えるため、第 1 の対向する力 7 6 a (図 3 A 参照) は S M A 加工対象物 6 0 の第 1 のエッジ 6 8 (図 3 A 参照) に印加され、第 2 の対向する力 7 6 b (図 3 A 参照) は S M A 加工対象物 6 0 の第 2 のエッジ 7 0 (図 3 A 参照) に印加される。概して平面的な変態挙動 7 8 (図 1 1 参照) は、S M A 加工対象物 6 0 の形状を変えてトレーニング処理された加工対象物 6 0 a (図 3 B 参照) を得るため、図 3 A と 3 B との間の矢印によって示されるラッキング運動 7 9 を生成することによって、S M A 加工対象物 6 0 に与えることができる。トレーニング処理された S M A 加工対象物 6 0 a の形状は、平行四辺形 7 7 a (図 3 B 参照) などの形態にある、トレーニング処理された形状 7 7 (図 3 B 参照) である。トレーニング処理された S M A アクチュエータ

30

40

50

6 2 a などの形態にあるトレーニング処理された S M A 加工対象物 6 0 a は、第 1 の端部 6 4、第 2 の端部 6 6、第 1 のエッジ 6 8、第 2 のエッジ 7 0、上面などの第 1 の面 7 2、及び底面などの第 2 の面 7 4 を備える。

【 0 0 2 2 】

S M A 加工対象物 6 0 (図 3 A 参照) に偶力 7 6 (図 1 1 参照) を印加する方法 3 0 0 (図 1 2 参照) のステップ 3 0 2 (図 1 2 参照) は、エッジ方向のラッキング荷重 8 0 (図 1 1 参照) が S M A 加工対象物 6 0 に印加されるように、第 1 のエッジ 6 8 (図 3 A 参照) に第 1 の対向する力 7 6 a (図 3 A) を印加すること及び第 2 のエッジ 7 0 (図 3 A 参照) に第 2 の対向する力 7 6 b (図 3 A 参照) を印加することなど、対向する力を印加することを含みうる。本明細書で使用されているように、「エッジ方向のラッキング荷重」は、ほぼ矩形の形状 7 5 a (図 3 A 参照) の対象物又は構造体をほぼ平行四辺形の形状 7 7 a (図 3 B) の対象物又は構造体に変態する、或いはほぼ正方形の形状 (図示せず) の対象物又は構造体をほぼ菱形の形状 (図示せず) の対象物又は構造体に変態する傾向にある性質の荷重を意味する。

【 0 0 2 3 】

加えて、S M A 加工対象物 6 0 (図 3 A 参照) に偶力 7 6 (図 1 1 参照) を印加するステップ 3 0 2 は、図 1 0 に関して以下でさらに詳細に説明される S M A 加工対象物 6 0 内に波様変形 2 4 2 (図 1 0 参照) が生成されるように、印加力 2 4 4 (図 1 0 参照) と反作用力 2 4 6 (図 1 0 参照) のように対向する力を印加することを含みうる。加えて、S M A 加工対象物 6 0 (図 3 A 参照) に偶力 7 6 (図 1 1 参照) を印加するステップ 3 0 2 は、S M A 加工対象物 2 4 7 (図 1 1 参照) に概して非波状 波状の変態挙動 2 4 7 (図 1 1 参照) を与えるため、すなわち、S M A アクチュエータ 6 2 などの形態にある S M A 加工対象物 6 0 の形状を、元の形状 7 5 (図 3 A 参照) 又は非波状の形状から波状形状 2 4 3 (図 1 0 参照) に変化させるため、印加力 2 4 4 (図 1 0 参照) と反作用力 2 4 6 (図 1 0 参照) のように対向する力を印加することを含みうる。

【 0 0 2 4 】

図 1 2 にさらに示すように、方法 3 0 0 は、S M A アクチュエータ 6 2 などの形態で、S M A 加工対象物 6 0 に熱サイクル 8 2 (図 1 1 参照) を印加するステップ 3 0 4 を含みうる。熱サイクル 8 2 を印加するステップ 3 0 4 は、S M A 加工対象物 6 0 が概して平面的な変態挙動 7 8 (図 1 1 参照) を有するように、S M A アクチュエータ 6 2 などの形態で、S M A 加工対象物 6 0 (図 3 A 参照) にほぼ平面的な歪みサイクル 8 4 (図 1 1 参照) を与えることによって、循環的な方法で偶力 7 6 を印加することを含みうる。熱サイクル 8 2 を印加するステップ 3 0 4 は、S M A 加工対象物 6 0 の形状を、ほぼ矩形の形状 7 5 a (図 3 A 参照) を含む元の形状 7 5 (図 3 A 参照) から、ほぼ平行四辺形の形状 7 7 a (図 3 B 参照) を含むトレーニング処理された形状 7 7 (図 3 B 参照) に変化させるラッキング運動 7 9 (図 3 A 及び 3 B 参照) を生成するため、S M A アクチュエータ 6 2 などの形態で、S M A 加工対象物 6 0 に熱を印加することを含みうる。S M A 加工対象物 6 0 の形状を、ほぼ矩形の形状 7 5 a からほぼ平行四辺形の形状 7 7 a に変化させるラッキング運動 7 9 は、好ましくは S M A 加工対象物 6 0 の基線及び対応する高さを保存する。

【 0 0 2 5 】

熱サイクル 8 2 を印加するステップ 3 0 4 は、S M A 加工対象物 6 0 に概して平面的な変態挙動 7 8 (図 1 1 参照) を与えて、トレーニング処理された S M A アクチュエータ 6 2 a などの形態で、トレーニング処理された S M A 加工対象物 6 0 a (図 3 B 参照) を得るため、S M A アクチュエータ 6 2 などの形態で S M A 加工対象物 6 0 の熱 - 機械的な処理を含みうる。熱 - 機械的な処理は、以下でさらなる詳細が説明されるように、温度制御システム 1 2 3 (図 5 参照) を使用して、温度変動 1 2 5 (図 1 1 参照) を印加することを含みうる。

【 0 0 2 6 】

形状記憶合金 (S M A) 原材料 6 1 (図 3 A、3 B 参照) は、たとえば、限定されないが、ニッケル - チタン (ニチノール) ベースの合金、ニッケル - チタン - プラチナベース

10

20

30

40

50

の合金、インジウム - チタンベースの合金、ニッケル - アルミニウムベースの合金、ニッケル - アルミニウム - プラチナベースの合金、ニッケル - ガリウムベースの合金、銅ベースの合金、金 - カドミウムベースの合金、鉄 - プラチナベースの合金、鉄 - パラジウムベースの合金、銀 - カドミウムベースの合金、インジウム - カドミウムベースの合金、マンガ - 銅ベースの合金、ルテニウム - ニオブベースの合金、ルテニウム - タantalベースの合金、チタンベースの合金、鉄ベースの合金などの好適な形状記憶合金を含みうる。より好ましくは、形状記憶合金はニチノールである。

【 0 0 2 7 】

好ましくは、本明細書で開示されている、SMAアクチュエータ62（図3B参照）などの形態にあるSMA加工対象物60（図3A参照）の実施形態で使用される形状記憶合金は、双方向形状記憶効果を有することがある。形状記憶合金が受ける双方向形状記憶効果は、マルテンサイト相86（図11参照）とオーステナイト相88（図11参照）を含む、2つの相又は状態を有する。マルテンサイト相86は、形状記憶合金の比較的柔軟で変形しやすい相のことで、低温で存在する。形状記憶合金は加熱されると、マルテンサイト相86（元の形状75）からオーステナイト相88（トレーニング処理された形状77）への変態を起こす。オーステナイト相88では、形状記憶合金は変形される前に有していた形状を「記憶」している。低応力及び低温下ではマルテンサイト相86が存在し、高温及び高応力下ではオーステナイト相88が存在する。形状記憶合金は多大な歪みを受けた後、温度が上昇又は荷重が取り除かれると、元の形状75に戻ることができる。

【 0 0 2 8 】

SMAアクチュエータ62などの形態にあるSMA加工対象物60（図3A参照）を加熱すると、また第1の対向する力76a及び第2の対向する力76bなどの形態にある偶力76（図11参照）がSMA加工対象物60に印加されると、双方向形状記憶効果によりSMA加工対象物60はトレーニング処理され、元の形状75（図3A参照）すなわちマルテンサイト相86（図11参照）からトレーニング処理された形状77（図3B参照）すなわちオーステナイト相88（図11参照）に変化し、また、トレーニング処理された形状77から元の形状75に戻る。偶力76は、所定の応力レベル（例えば、25～35ksi、好ましくは30ksi（ksi=1000ポンド/平方インチ））を印加すること、及びSMA加工対象物60を少なくとも500～1000回加熱を繰り返すことによって循環的に印加されることがあり、これによって、SMAアクチュエータ62（図3A参照）などの形態にあるSMA加工対象物60（図3A参照）にほぼ平面的な歪みサイクル84（図11参照）を与えることができる。SMA加工対象物60は、マルテンサイト相86すなわち元の形状75に対応する第1の温度から、オーステナイト相88すなわちトレーニング処理された形状77に対応する第2の温度まで加熱されると、形状変化を促す。SMA加工対象物60が第2の温度まで又は転移温度を超えて加熱されると、SMA加工対象物60はオーステナイト相88（図11参照）に達して、SMA加工対象物60の変化及び元の形状75への回復を引き起こす。熱 - 機械的な処理又はサイクル処理を含むトレーニング処理は、第2のエッジ70（図3A参照）が移動する又はトレーニング処理荷重を受ける間に、SMA加工対象物60の第1のエッジ68（図3A参照）が動かないように保持するように実施されてもよい。これにより、SMA加工対象物60のトレーニング処理は、歪みを測定及び制御する間に、循環的に荷重を印加及び除去すること、並びにSMA加工対象物60の温度を上昇及び降下させることをさらに含むうる。

【 0 0 2 9 】

SMAアクチュエータ62などの形態にあるSMA加工対象物60で何らかのトレーニング処理が実施される前に、SMA加工対象物60は矩形の初期形状63（図11参照）、すなわち変形前の形状を有してもよい。SMAアクチュエータ62などの形態にあるSMA加工対象物60のトレーニング処理時には、印加力186（図11参照）は好ましくは、熱サイクル82（図11参照）によるSMA加工対象物60の熱サイクル中に、SMA加工対象物60に印加される。マルテンサイト相86（図11参照）では、SMA加工対象物60は元の形状75を有するが、これは好ましくはトレーニング処理時にSMA加

10

20

30

40

50

工対象物 60 に印加される印加力 186 によって変形された形状である。SMA 加工対象物 60 にマルテンサイト相 86 の低温下で荷重が印加されると、SMA 加工対象物は、ほぼ矩形の形状 75a (図 3A 参照) からほぼ平行四辺形の形状 77a (図 3B 参照) (変形された形状) に変形する。熱が印加されると、ほぼ平行四辺形の形状 77a (変形された形状) は、初期形状 63、例えば矩形、に近い形状、すなわち変形前の形状に戻る。有効な時間間隔で熱サイクルを行うことによって、SMA 加工対象物 60 は、好ましくはトレーニング処理された加工対象物 60a (図 3B 参照) の形態にトレーニング処理される。ひとたびトレーニング処理されたら、例えばほぼ平行四辺形の形状 77a を有するトレーニング処理された SMA 加工対象物 60a は、第 1 のエッジ 68 (図 3B 参照)、第 2 のエッジ 70 (図 3B 参照)、第 1 の端部 64 (図 3B 参照) 及び / 又は第 2 の端部 66 (図 3B 参照) が切り取られて、例えば矩形の形状 75a (図 3A 参照) などの元の形状 75 (図 3A 参照) になるように処理されてもよい。加熱されると、SMA 加工対象物 60 (図 3A 参照) の元の形状 75 は、好ましくはトレーニング処理された SMA 加工対象物 60a (図 3B 参照) のトレーニング処理された形状 77 (オーステナイト相 88) に変態する。

【0030】

本開示の別の実施形態では、加工を実施することができるトレーニング処理システム 90 (図 11 参照) が提供される。図 11 は、本開示の方法 300 (図 12 参照) の実施形態の 1 つで使用されうるトレーニング処理システム 90 のブロック図である。図 11 に示すように、トレーニング処理システム 90 は、概して平面的な変態挙動 78 を示す形状記憶合金 (SMA) アクチュエータ 62 などの、形状記憶合金 (SMA) 加工対象物 60 を含む。トレーニング処理システム 90 は、SMA アクチュエータ 62 などの形態にある SMA 加工対象物 60 を元の形状 75 (図 3A 参照) からトレーニング処理された形状 77 (図 3B 参照) に変態するための一又は複数の加熱素子 124 (図 5、11 参照) さらに備え、これによって加工を実施する。

【0031】

トレーニング処理された SMA アクチュエータ 62a (図 3B 参照) は、概して平面的な変態挙動 78 (図 11 参照) を示すトレーニング処理された SMA 加工対象物 60a (図 3B 参照) を備えうる。トレーニング処理された SMA アクチュエータ 62a は、トレーニング処理された SMA 加工対象物 60a (図 3B 参照) をさらに備え、トレーニング処理された SMA 加工対象物 60a は、SMA 加工対象物 60 に概して平面的な変態挙動 78 (図 11 参照) を与えるため、SMA 加工対象物 60 (図 3A 参照) に偶力 76 (図 11 参照) を印加することによってトレーニング処理される。トレーニング処理システム 90 は好ましくは、運動を与えることが可能で、それによって加工を実施することができる。図 11 に示すように、トレーニング処理システム 90 は、荷重印加デバイス 102 (図 4 も参照) 及び温度制御システム 123 (図 5 も参照) を有するトレーニング処理装置アセンブリ 100 (図 4 も参照) を備える。荷重印加デバイス 102 は、スライドデバイス 112 (図 4、11 参照) など、動いて運動を受け取るように意図された機構又はリンケージを備える構造体に、運動を与える又は運動を伝達することができる。

【0032】

荷重印加デバイス 102 (図 4 参照) は好ましくは、SMA アクチュエータ 62 などの形態にある SMA 加工対象物 60 に、エッジ方向のラッキング荷重 80 (図 11 参照) を印加する。熱制御システム 123 (図 5 参照) は、SMA アクチュエータ 62 などの形態にある SMA 加工対象物 60 の形状を、ほぼ矩形の形状 75a (図 3A 参照) を含む元の形状 75 (図 3A 参照) から、ほぼ平行四辺形の形状 77a (図 3B 参照) を含むトレーニング処理された形状 77 (図 3B 参照) に変化させるラッキング運動 79 (図 3A 及び 3B 参照) を生成するため、好ましくは、一又は複数の加熱素子 124 (図 5 参照) を制御し、また好ましくは SMA アクチュエータ 62 などの形態にある SMA 加工対象物 60 に温度変動 125 (図 11 参照) を印加する。

【0033】

SMAアクチュエータ62などの形態にあるSMA加工対象物60のトレーニング処理及び熱-機械的処理は、好ましくはトレーニング処理装置アセンブリ100(図4、11参照)を有するトレーニング処理システム90を使用することを含み、且つ好ましくは、トレーニング処理装置アセンブリ100によって印加されて生成された歪み94(図11参照)又はSMA加工対象物60によって生成された荷重96(図11参照)を直接的又は間接的に決定するための性能測定システム92(図11参照)をさらに含む。SMA加工対象物60がトレーニング処理装置アセンブリ100(図4参照)に設置されることになっている場合には、SMA加工対象物60(図5参照)にインターフェース開口部158(図5参照)が切り込まれてもよい。このようなインターフェース開口部158は、クランプ118(図4参照)など、トレーニング処理装置アセンブリ100(図4参照)の保持素子116(図4参照)を受け止めるように、所望の形状及びサイズに切り込まれてもよい。

【0034】

SMAアクチュエータ62などの形態にあるSMA加工対象物60は、構造体164(図6参照)、好ましくは複合材構造体165(図6参照)への接着、機械的取り付け、又は他の好適な結合処理などによって、切断、化学処理、及び結合されてもよい。構造体164は、トレーニング処理装置アセンブリ100(図4参照)に挟着するため、必要に応じて機械加工されてもよい。

【0035】

図4は、SMAアクチュエータ62などの形態にあるSMA加工対象物60のトレーニング処理に使用されうるトレーニング処理装置アセンブリ100の斜視図の図解である。SMAアクチュエータ62などの形態にあるSMA加工対象物60のトレーニング処理は、SMAアクチュエータ62(図4参照)などの形態にあるSMA加工対象物60をトレーニング処理装置アセンブリ100に装着すること、及びSMAアクチュエータ62などの形態にあるSMA加工対象物60の加熱及び冷却の間にエッジ方向のラッキング荷重80を印加することを含みうる。SMAアクチュエータ62(図4参照)などの形態にあるSMA加工対象物60(図4参照)は、好ましくは第1のエッジ68(図4参照)に沿って、及び第2のエッジ70(図4参照)に沿って挟着される。第2のエッジ70(図3A参照)は好ましくは固定され、第1のエッジ68(図3A参照)は好ましくはリニアスライドデバイス114(図4参照)に沿って直線的に自由に動くことができる。エッジ方向のラッキング荷重80(図11参照)は一様に分散されても、離散的に分散されても、或いは様々な方法で分散されてもよい。

【0036】

図4に示すように、トレーニング処理装置アセンブリ100は、基板結合構造体150を介して、ほぼ平坦な表面152上に配置及び結合されてもよい。トレーニング処理装置アセンブリ100は、荷重印加デバイス102(図4参照)を備える。荷重印加デバイス102は、RAMデバイス104(図4参照)又はリニアアクチュエータ(図11参照)を含んでもよい。荷重印加デバイス102は、荷重印加デバイス102を調整するためのレギュレータデバイス106に結合されてもよい。レギュレータデバイス106は、圧力レギュレータ、流圧レギュレータ、電動レギュレータ、又は他の好適なレギュレータデバイスの形態にあってもよい。

【0037】

図4に示すように、トレーニング処理装置アセンブリ100は、リニアスライドデバイス114などの形態にあるスライドデバイス112をさらに備えてもよい。リニアスライドデバイス114は好ましくは、荷重印加デバイス102に結合されている。一又は複数の印加荷重186(図11参照)は、荷重印加デバイス102(図11参照)によってリニアスライドデバイス114に印加されてもよい。

【0038】

トレーニング処理の間、SMAアクチュエータ62(図4参照)などの形態にあるSMA加工対象物60(図4参照)は、荷重印加デバイス102から最も遠い第2の端部66

10

20

30

40

50

(図4参照)によってトレーニング処理装置アセンブリ100に装着される。図4に示すように、トレーニング処理装置アセンブリ100は、クランプ118などの形態にある一又は複数の保持素子116をさらに備えてもよい。クランプ118などの形態にある2つ以上の保持素子116は、SMAアクチュエータ62などの形態にあるSMA加工対象物60をトレーニング処理装置アセンブリ100に保持するため、ボルト(図示せず)などの取付締結具用の孔120(図4参照)を含んでもよい。保持素子116は、支持構造体122を介してトレーニング処理装置アセンブリ100に固定可能である。SMAアクチュエータ62などの形態にあるSMA加工対象物60は、好ましくはクランプ118(図4参照)などの形態にある保持素子116(図4参照)によって、第1のエッジ68及び第2のエッジ70に保持されている。図4に示すように、SMAアクチュエータ62などの形態にあるSMA加工対象物60は第1のエッジ68及び第2のエッジ70の上に挟着されてもよく、第2のエッジ70は挟着され、また第1のエッジ68は固定されておらずスライドデバイス112に沿って直線的に動くことができる。保持素子116は、荷重印加デバイス102からリニアスライドデバイス114に印加された一又は複数の印加荷重186の結果として、リニアスライドデバイス114からの一又は複数の反作用荷重188(図11参照)に反応することがある。つまり、保持素子116は反応すること、すなわちエッジ方向のラッキング荷重80(図11参照)を与えることがある。

【0039】

トレーニング処理装置アセンブリ100は、温度制御システム123(図5、11参照)をさらに備えてもよい。図5は、例えば、本開示の方法300(図12参照)の実施形態の1つによってトレーニング処理されるSMAアクチュエータ62aなど、トレーニング処理されたSMA加工対象物60aの実施形態の拡大平面透視図の図解で、温度制御システム123を示している。図5に示すように、温度制御システム123は、SMAアクチュエータ62などの形態にあるSMA加工対象物の第2の面74の上に配置される一又は複数の加熱素子124を含みうる。一又は複数の加熱素子124は、一又は複数の可撓性のある加熱テープ126(図5、11参照)、TEM(熱電モジュール)214(図8C参照)、加熱ランプ(図示せず)、加熱ガン(図示せず)、電気抵抗を有する形状記憶合金材料を通る電流(図示せず)、或いは熱の生成又は制御のための他の好適な加熱素子を含みうる。

【0040】

図5に示すように、一又は複数の加熱素子124は、形状記憶合金がマルテンサイト相86(図11参照)から、SMAアクチュエータ62がせん断方向に動くオーステナイト相88(図11参照)まで移動する加熱を促進するため、好ましくは、トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aなどの形態にあるトレーニング処理されたSMA加工対象物60aに隣接して配置される。トレーニング処理中及び加熱されると、SMAアクチュエータ62(図3B参照)などの形態にあるSMA加工対象物60(図3A参照)は、元の形状75(図3A参照)(トレーニング処理荷重により変形された形状、マルテンサイト相86(図11参照))から、トレーニング処理された形状77(図3B参照)(初期形状63(図11参照)に近い、変形されていない形状、オーステナイト相88(図11参照))まで変態し、トレーニング処理された形状77から元の形状75に戻ろうとする。トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aなどの形態にあるトレーニング処理されたSMA加工対象物60aの温度が低下すると、形状記憶合金は元の形状75、マルテンサイト相86(図11参照)に戻る。SMA加工対象物60がトレーニング処理されると、トレーニング処理中に印加された力は常に存在し、ほぼ一定の大きさとなることがある。

【0041】

図5にさらに示すように、温度制御システム123は、トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aの第2の面74上の加熱素子124に対向する、トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aの第1の面72上に配置される一又は複数の温度センサ128を含んでもよい。温度センサ128は、熱電対デバイス129(図5参照)、又

10

20

30

40

50

は別の好適な温度センサ 128 を含んでもよい。図 5 は、加熱素子ワイヤ 130 に接続された一又は複数の加熱素子 124 を示し、別々のセンサワイヤ 133 に各々接続された温度センサ 128 をさらに示す。図 5 に示すように、加熱素子 124 は好ましくは、機能しているアクチュエータ領域 154 内のトレーニング処理された S M A 加工対象物 60 a の第 2 の表面 74 上に配置される。図 5 にさらに示すように、締結具開口部 158 及びインターフェース開口部 160 は、好ましくはトレーニング処理された S M A 加工対象物 60 a の外表面領域 156 上に配置される。

【 0 0 4 2 】

図 4 及び図 5 に示すように、温度制御システム 123 は、コネクタ 131 を介してトレーニング処理装置アセンブリ 100 の加熱素子 124 の加熱素子ワイヤ 130 に結合され、さらに温度センサ 128 のセンサワイヤ 123 に結合されたコントローラデバイス 132 をさらに含むことがある。図 4 及び図 5 にさらに示すように、コントローラデバイス 132 は、ソフトウェア 138 を実行及び処理するためのプロセッシングユニット 136 を含むことがあるコンピュータデバイス 134 を含むことがある。

【 0 0 4 3 】

S M A アクチュエータ 62 などの形態にある S M A 加工対象物 60 の温度は、好ましくは加熱素子 124、温度センサ 128、及びコントローラデバイス 132 を使用して制御される。トレーニング処理装置アセンブリ 100 は、性能測定素子 140 (図 4、11 参照) を備える性能測定システム 92 をさらに含んでもよい。性能測定素子 140 は、レーザー位置センサ 144 (図 4 参照) などの形態にある一又は複数のセンサ 142 (図 4 参照) を含むことがある。図 4 は、それぞれの筐体素子 146 に取り付けられた 2 組のレーザー位置センサ 144 を示す。レーザー位置センサ 144 などの形態にある性能測定素子 140 は、好ましくは S M A アクチュエータ 62 などの形態にある S M A 加工対象物 60 の第 1 のエッジ 68 の運動及び第 2 のエッジ 70 の運動を測定する。運動によって生成される歪み 94 (図 1 参照) は、性能測定素子 140 (図 4 参照) によって測定可能である。トレーニング処理が完了すると、トレーニング処理された S M A 加工対象物 60 a (図 3 B 参照) は、加熱及び冷却によって機能するようになり、トレーニング処理された S M A 加工対象物 60 a の性能 108 (図 11 参照) は性能測定素子 140 を使用して測定可能である。トレーニング処理によって永久変形が引き起こされ、S M A 加工対象物 60 の初期形状 63 (図 1 参照) と比較して、トレーニング処理された S M A 加工対象物 60 a の概してわずかな形状変化を生じることがある。トレーニング処理装置アセンブリ 100 は、好ましくは S M A 加工対象物 60 の加熱及び冷却の間に、印加荷重 186 (図 11 参照) を S M A 加工対象物 60 に印加する。

【 0 0 4 4 】

トレーニング処理及び加熱の後、トレーニング処理された S M A アクチュエータ 62 a などの形態にあるトレーニング処理された S M A 加工対象物 60 a は、さらなる処理を受けることがある。例えば、トレーニング処理直後のトレーニング処理された S M A 加工対象物 60 a の形状が、トレーニング処理中に起こりうる変形又は永久変形によって所望の形状にない場合には、トレーニング処理された S M A 加工対象物 60 a は、一又は複数のさらなる処理技術を受けることがある。このような処理技術には、一又は複数の機械加工、化学処理、切断、表面処理、表面仕上げ、接着、被覆、めっき、研磨、又は他の好適な処理技術を含みうる。

【 0 0 4 5 】

処理後、トレーニング処理された S M A アクチュエータ 62 a (図 3 B 参照) などの形態にあるトレーニング処理された S M A アクチュエータ 60 a (図 3 B 参照) は、一又は複数の構造体 164 (図 6、8 A、9 B 参照) に結合されてもよい。図 12 に示すように、方法 300 は、トレーニング処理された S M A アクチュエータ 62 a などの形態にあるトレーニング処理された S M A 加工対象物 60 a (図 3 B 参照) を、任意選択により一又は複数の構造体 164 に結合するステップ 306 を含むことがある。好ましくは、一又は複数の構造体 164 は、トレーニング処理されたアクチュエータ 62 a などのトレーニン

10

20

30

40

50

グ処理されたSMA加工対象物60aの温度変化に反応して形状を変えることができる。トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aなどのトレーニング処理されたSMA加工対象物60aを結合するステップ306は、構造桁30又は構造桁44に作用するため、トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aなどのトレーニング処理されたSMA加工対象物60aを、航空ビークル10(図1、図2参照)の構造桁30(図1参照)又は構造桁44(図2参照)に一体化すること又は埋め込むことを含む。本明細書で使用されているように、「作用する」とは、限定されるものではないが、例えば、構造桁30(図1参照)又は構造桁30の一部、或いは構造桁44(図2参照)又は構造桁44の一部、或いは構造桁224(図8B参照)又は構造桁224の一部などの、構造体の形状を撓ませる、屈曲させる、ねじる、曲げる、歪ませる、又は適合させることを意味し、含む。埋め込まれたトレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aはまた、構造桁224(図8B、9C参照)に一体化されて示されている。

10

【0046】

本開示の別の実施形態では、適応可能な構造体などの構造体164(図8B、9C参照)が提供される。適応可能な構造体などの構造体164(図8B、9C参照)は、概して平面的な変態挙動78(図11参照)を有する、トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62a(図3B参照)などの形態にある少なくとも1つのトレーニング処理された形状記憶合金(SMA)加工対象物60aを備える。トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62a(図3B参照)などの形態にある少なくとも1つのトレーニング処理されたSMA加工対象物60aは、構造体164(図8B、9C参照)に、好ましくは複合材構造体165(図8B、9C参照)又は金属構造体又は他の好適な構造体に結合される。構造体164は、好ましくは、トレーニング処理されたアクチュエータ62aなどのトレーニング処理されたSMA加工対象物60aの温度変化に反応して適応可能である。

20

【0047】

適応可能な構造体などの構造体164は、好ましくは、航空ビークル10(図1、2参照)に、構造桁30(図1参照)、構造桁44(図2参照)、又は構造桁224(図8B参照)を備える。構造桁30(図1参照)、構造桁44(図2参照)、又は構造桁224(図8B参照)は、好ましくは閉じられた断面を有し、図8Bに示すように、トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aなどの少なくとも2つのトレーニング処理された形状記憶合金(SMA)加工対象物60aを含み、トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aなどのトレーニング処理されたSMA加工対象物60aは互いにほぼ対向するように配置される。少なくとも1つのトレーニング処理されたSMA加工対象物60aは、好ましくは、構造体164(図8B参照)に埋め込まれるトレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aを備え、好ましくは、構造体164の航空力学的表面に作用するように構成される。少なくとも1つのトレーニング処理されたSMA加工対象物60aは、好ましくは、構造体164に接着される(図8B参照)、機械的に取り付けられる(図9C参照)、溶接される、融合される、又は他の好適な方法で結合されることがあり、構造体164の形状に作用する、トレーニング処理された形状記憶合金(SMA)アクチュエータ62a(図8B、9C参照)に一体化される。トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aなど、少なくとも1つのトレーニング処理されたSMA加工対象物60aは、好ましくは、トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aなどのSMA加工対象物60にほぼ平面的な変態挙動78(図11参照)を与えるために、トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aなどのSMA加工対象物60(図3A参照)に偶力76(図11参照)を印加すること、及びSMAアクチュエータ62などのSMA加工対象物60の形状をほぼ矩形の形状75a(図3A参照)からほぼ平行四辺形の形状77a(図3B参照)に変えるラッキング運動79(図3A、3B参照)を生成するために、SMAアクチュエータ62aなどのSMA加工対象物60に熱サイクル82(図11参照)を印加することによって、トレーニング処理される。

30

40

【0048】

好ましくは、適応可能な構造体などの構造体164は、航空力学的表面を有する。構造

50

体 1 6 4 は、地上構造体及び地上ビークル、水上構造体、及び他のビークルを含む、航空機 1 1 (図 1 参照) などの航空ビークル 1 0 (図 1 参照) の翼 1 4、1 6 (図 1 参照) の構造桁 3 0 (図 1 参照) 又は構造桁 3 0 の一部、航空機 1 1 (図 1 参照) などの航空ビークル 1 0 (図 1 参照) の翼 1 6 (図 1 参照) の表面、回転翼航空機 3 4 (図 2 参照) などの航空ビークル 1 0 (図 2 参照) のローターブレード 4 0 (図 2 参照) の構造桁 4 4 (図 2 参照) 又は構造桁 4 4 の一部、回転翼航空機 3 4 などの航空ビークル 1 0 (図 2 参照) のローターブレード 4 0 (図 2 参照) の表面、航空機 1 1 (図 1 参照) の尾部 2 0 (図 1 参照)、航空機 1 1 (図 1 参照) の尾部 2 0 (図 1 参照) の表面、翼、又は他の空気力学的及び非空気力学的構造体、コンポーネント、及び素子、のうちの 1 つを備えてもよい。埋め込まれているトレーニング処理された SMA アクチュエータ 6 2 a は、構造体 1 6 4 上に力を及ぼし、翼 1 4、1 6 の構造桁 3 0 又はローターブレード 4 0 の構造桁 4 4 など、構造体 1 6 4 の作動時形状などの形状に影響を及ぼし、形状の駆動又は制御を行い、次に翼 1 4、1 6 又はローターブレード 4 0 の作動時形状を制御する。トレーニング処理された SMA アクチュエータ 6 2 a は構造体 1 6 4 (図 6 参照) に接着されてもよく、或いはトレーニング処理された SMA アクチュエータ 6 2 a は構造体 1 6 4 に機械的に取り付けられてもよい (図 9 A ~ 9 C 参照) 。

10

【 0 0 4 9 】

図 5 は、ローターブレード 4 0 (図 2 参照) の構造桁 4 4 (図 2 参照) などの構造体 1 6 4 に一体化するためにトレーニング処理され且トリミングされた SMA アクチュエータ 6 2 a などの形態にある、トレーニング処理された SMA 加工対象物 6 0 a を示している。アクチュエータフレームピース 1 6 2 は、トレーニング処理された SMA アクチュエータ 6 2 a などのトレーニング処理された SMA 加工対象物 6 0 a からトリミングされてもよく、また、トレーニング処理された SMA アクチュエータ 6 2 a などのトレーニング処理された SMA 加工対象物 6 0 a が、機械的な取り付けなどによって構造桁 4 4 (図 2 参照) などの構造体 1 6 4 に結合されるように取り除かれてもよい。トレーニング処理された SMA アクチュエータ 6 2 a などのトレーニング処理された SMA 加工対象物 6 0 a は、構造体 1 6 4 (図 6 参照) に、好ましくは複合材構造体 1 6 5、金属構造体、又は他の好適な構造体に接着するために、トリミングされ処理されてもよい。

20

【 0 0 5 0 】

図 6 は、トレーニング処理に先立って、またトレーニング処理装置アセンブリ 1 0 0 (図 4 参照) の設置に先立って、接着された複合材構造体 1 6 5 a を形成するため、複合材構造体 1 6 4 に接着された SMA アクチュエータ 6 2 などの形態にある SMA 加工対象物 6 0 の実施形態の拡大平面図の図解である。トレーニング処理に先立って、SMA 加工対象物 6 0 が構造体 1 6 4 に既に接着されている場合には、構造体 1 6 4 はコンポーネント部品にレイアップするため切断されてもよい。図 6 は、第 1 の端部 6 4、第 2 の端部 6 6、第 1 のエッジ 6 8、及び第 2 のエッジ 7 0 を有する SMA アクチュエータ 6 2 などの形態にある SMA 加工対象物 6 0 を示し、また、取付エッジ 1 6 8 a 及び非取付エッジ 1 7 0 a を有する第 1 の構造体 1 6 6 a を備え、取付エッジ 1 6 8 b 及び非取付エッジ 1 7 0 b を有する第 2 の構造体 1 6 6 b を備える構造体 1 6 4 を示している。図 6 に示すように、SMA アクチュエータ 6 2 などの形態にある SMA 加工対象物 6 0 の第 1 のエッジ 6 8 は第 1 の構造体 1 6 6 a の取付エッジ 1 6 8 a に接着されてもよく、また、SMA アクチュエータ 6 2 などの形態にある SMA 加工対象物 6 0 の第 2 のエッジ 7 0 は第 2 の構造体 1 6 6 b の取付エッジ 1 6 8 b に接着されてもよい。第 1 の構造体 1 6 6 a 及び第 2 の構造体 1 6 6 b の各々は、構造体インターフェース開口部 1 7 2 を含んでもよい。図 6 はさらに、SMA アクチュエータ 6 2 などの形態にある SMA 加工対象物 6 0 の第 1 の端部 6 8 及び第 2 の端部 7 0 が構造体 1 6 4 を横断してさらに延在する、拡張された接着領域 1 7 4 を示している。

30

40

【 0 0 5 1 】

図 7 A ~ 7 G は、トレーニング処理変形例 1 8 0 a ~ 1 8 0 f などの形態にある種々のトレーニング処理変形例 1 8 0 の実施形態を示す。図 7 A は、本開示のトレーニング処理

50

変形例 180 a などの形態にあるトレーニング処理変形例 180 の実施形態の平面図の図解である。図 7 A は、例えば、SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 の第 1 のエッジ 68 及び第 2 のエッジ 70 が、クランプ 118 などの形態にある保持素子 116 によって保持又は挟着される、基本的な方法を示している。第 1 の非固定領域 182 及び第 2 の非固定領域 184 は保持又は挟着されておらず、固定されていない。SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 全体は、トレーニング処理中に加熱されてもよい。図 7 E はさらに、挟着される第 2 のエッジ 70 に沿った印加力 186 a を示し、また、挟着される第 1 のエッジ 68 に沿った反作用力 188 a を示す。印加力 186 a はトレーニング処理中に常に存在し、ほぼ一定の大きさとなることがある。図 7 A に示すように、SMA 加工対象物 60 の第 2 の表面 74 は、第 1 の非固定領域 182 及び第 2 の非固定領域 184 を含む、加熱素子 124 に覆われている。基本的な方法では、SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 はトレーニング処理され、また、構造体 164 (図 6 参照) に、好ましくは複合材構造体 165 (図 6 参照) に一体化されている場合には、構造体 164 は、好ましくは、トレーニング処理された SMA アクチュエータ 62 a (図 3 B 参照) などのトレーニング処理された SMA 加工対象物が構造体 164 の形状に作用する又は形状を制御する方法に従って動く。印加力 186 a はリニアスライドデバイス 114 (図 4 参照) に印加される力を示す。

【0052】

図 7 B は、本開示のトレーニング処理変形例 180 b の形態にある、トレーニング処理変形例 180 の別の実施形態の平面図の図解である。図 7 B は、例えば、SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 の第 1 のエッジ 68 及び第 2 のエッジ 70 が、クランプ 118 などの形態にある保持素子 116 によって保持又は挟着される、トレーニング処理変形例 180 b を示している。このトレーニング処理変形例 180 b では、図 7 B に示すように、SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 は、加熱されない第 1 の非固定領域 182 及び第 2 の非固定領域 184 を除いて、加熱素子 124 に覆われている。第 1 の非固定領域 182 と第 2 の非固定領域 184 はトレーニング処理中に加熱されないため、第 1 の非固定領域 182 と第 2 の非固定領域 184 及び第 1 の端部 64 と第 2 の端部 66 は、加熱素子 124 に覆われている中間部分ほど作動しないことがある。図 7 B はさらに、挟着される第 2 のエッジ 70 に沿った印加力 186 b を示し、挟着される第 1 のエッジ 68 に沿った反作用力 188 b を示す。印加力 186 b はトレーニング処理中に常に存在し、ほぼ一定の大きさとなることがある。このトレーニング処理変形例 180 b では、これらの非固定領域内及び近傍の応力を低減するため、第 1 の非固定領域 182 及び第 2 の非固定領域 184 には熱は印加されない。

【0053】

図 7 C は、本開示のトレーニング処理変形例 180 c の形態にある、トレーニング処理変形例 180 のさらに別の実施形態の平面図の図解である。図 7 C は、適合性材料 196 などの形態にあるフレーム素子 194 を有するトレーニング処理変形例 180 c を示し、例えば、SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 の第 1 の端部 64、第 2 の端部 66、第 1 のエッジ 68 及び第 2 のエッジ 70 は、フレーム素子 194 の周囲に適合性のある挟着を形成するクランプ 118 などの形態にある剛性を有する保持素子 116 によって保持又は挟着される。このトレーニング処理変形例 180 c では、図 7 C に示すように、SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 全体は、加熱素子 124 に覆われているが、適合性材料 196 から成るフレーム素子 194 は加熱されない。フレーム素子 194 は、SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 を取り囲み、剛性クランプ 118 などの一又は複数の剛性のある保持素子 116 は、フレーム素子 194 の周囲に適合性のある挟着を形成する。SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 全体は加熱されるが、SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 上の荷重は適合性のある挟着によって制御される。適合性は所望の歪みプロファイル 98 (図 11 参照) を生み出すか、又は埋め込まれた構造体の適合性に一致する。適合性材料 196 は、図 7 A ~ 7 G に示すように、トレーニング処理変形例 180 a ~ 180 f などの

10

20

30

40

50

形態にあるトレーニング処理変形例 180 の任意の実施形態と共に使用されることがある。幾つかの実施形態では、一様でない方法でエッジ方向のラッキング荷重 80 を印加することが望ましい。これは、SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 の一様でない挟着によって実現可能である。例えば、第 1 のエッジ 68 (図 3 A 参照)、第 2 のエッジ 70 (図 3 A 参照)、第 1 の端部 64 (図 3 A 参照)、及び / 又は第 2 の端部 66 (図 3 A 参照) の不連続な部分は挟着されること又は挟着が解除されることがあり、及び / 又は一様でない方法又は目的に合わせた方法で SMA 加工対象物 60 をトレーニング処理する間に、印加力 186 a ~ 186 e (図 7 A ~ 7 E 参照) 又は荷重などの形態にある印加力 186 又は荷重を伝達する材料又は構造体を使用されることがある。

【 0 0 5 4 】

図 7 C は、挟着される第 2 のエッジ 70 に沿った印加力 186 c を示し、挟着される第 1 のエッジ 68 に沿った反作用力 188 c を示す。印加力 186 c はトレーニング処理中に常に存在し、ほぼ一定の大きさとなることがある。図 7 C はさらに、第 1 の端部 64 に沿った反作用力 190 及び第 2 の端部 66 に沿った反作用力 192 を示す。図 7 C に示すトレーニング処理変形例 180 c では、SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 全体が加熱されるが、力は剛性クランプ 118 などの形態にある剛性のある保持素子 116 を介して印加されない。

【 0 0 5 5 】

図 7 D は、本開示のトレーニング処理変形例 180 d の形態にある、トレーニング処理変形例 180 のさらに別の実施形態の平面図の図解である。この代替的なトレーニング処理変形例 180 d では、図 7 D は、例えば、SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 の第 1 のエッジ 68 及び第 2 のエッジ 70 が、クランプ 118 などの形態にある保持素子 116 によって保持又は挟着される基本的な方法を示している。第 1 の非固定領域 182 及び第 2 の非固定領域 184 は保持又は挟着されておらず、固定されていない。SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 全体は第 1 の非固定領域 182 を除いて加熱されることがあり、第 2 の非固定領域 184 は、トレーニング処理によって発生した歪み駆動を取り除くため、トレーニング処理後に過加熱されることがある。図 7 D はさらに、挟着される第 2 のエッジ 70 に沿った印加力 186 d を示し、挟着される第 1 のエッジ 68 に沿った反作用力 188 d を示す。印加力 186 d はトレーニング処理中に常に存在し、ほぼ一定の大きさであってもよい。このトレーニング処理変形例 180 d では、SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 はトレーニング処理され、また、構造体 164 (図 6 参照) に、好ましくは複合材構造体 165 (図 6 参照) に一体化されている場合には、構造体 164 は、好ましくは、トレーニング処理された SMA アクチュエータ 62 a (図 3 B 参照) などのトレーニング処理された SMA 加工対象物 60 a が構造体 164 の形状に作用する又は形状を制御する方法に従って動く。印加力 186 d はリニアスライドデバイス 114 (図 4 参照) に印加される力を示す。

【 0 0 5 6 】

図 7 E は、本開示のトレーニング処理変形例 180 e の形態にある、トレーニング処理変形例 180 のさらに別の実施形態の平面図の図解である。図 7 E は、例えば、SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 の第 1 の端部 64、第 2 の端部 66、第 1 のエッジ 68、第 2 のエッジ 70 が、クランプ 118 などの形態にある保持素子 116 によって保持又は挟着されている、代替的なトレーニング処理変形例 180 e を示している。しかしながら、隅部 204 は、実質的に 4 本のバーリンクを形成するヒンジ部分 198 を含む。この実施形態では、SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 の短い端部、長いエッジ、又は短い端部と長いエッジの両方に沿って荷重が印加されることがある。短い端部の荷重印加は、第 1 の端部 64 (図 7 E 参照) 及び第 2 の端部 66 (図 7 E 参照) などの短い端部への荷重印加を含む。長いエッジの荷重印加は、第 1 のエッジ 68 (図 7 E 参照) 及び第 2 のエッジ 70 (図 7 E 参照) などの長いエッジへの荷重印加を含む。図 7 E は、挟着される第 1 の端部 64 に沿った印加力 186 e を示し、挟着される第 2 の端部 66 に沿った反作用力 188 e を示す。さらに、第 2 のエッジ 70 に沿った反

10

20

30

40

50

作用力 200 及び第 1 のエッジ 68 に沿った反作用力 202 が図 7 E に示されている。印加力 186 e はトレーニング処理中に常に存在し、ほぼ一定の大きさであってもよい。印加力 186 e 又は荷重はこの代替的なトレーニング処理変形例 180 e ではさらに小さくてもよく、代替的なトレーニング処理変形例 180 e は、SMA アクチュエータ 62 などの非常に長い SMA 加工対象物 60 の構築を単純化することができる。これは、非常に大きなトレーニング処理荷重を必要とする非常に長いアクチュエータのトレーニング処理に好ましいことがある。長いアクチュエータのトレーニング処理の方法を図 7 E に示す。SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 の短い側面に印加されるため、小さな荷重が使用されてもよい。ヒンジ部分 198 及びクランプ 118 は、SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 を抑制するために使用されてもよい。

10

【0057】

図 7 F は、本開示のトレーニング処理変形例 180 f の形態にある、トレーニング処理変形例 180 のさらに別の実施形態の分解側面図の図解である。図 7 G は、本開示の図 7 E のトレーニング処理変形例 180 f の組立側面図の図解である。図 7 F は、例えば、SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 が、金属プレート、プラテン、又は他の好適な挟み込みデバイスなどの形態にある撓み抑制器 206 a、206 b の間に挟み込まれる、代替的なトレーニング処理変形例 180 f を示している。撓み抑制器 206 a、206 b は、例えば SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 のトレーニング処理中に、波形又は波形状 243 (図 10 参照) の高さ又は範囲を制限するため、好ましくは波形撓み又は面外撓みをもたらす。撓み抑制器 206 a、206 b は、例えば SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 の動きを調整し、任意の波形の形成に先立って、例えば SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 を圧迫する。図 7 E、7 G に示すように、撓み抑制器 206 a は、トレーニング処理変形例 180 f がアSEMBLされた位置 208 (図 7 G 参照) にあるとき、例えば SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 の第 1 の表面 72 に印加力が印加されるように構成されており、撓み抑制器 206 b は、トレーニング処理変形例 180 f がアSEMBLされた位置 208 (図 7 G 参照) にあるとき、例えば SMA アクチュエータ 62 などの SMA 加工対象物 60 の第 2 の表面 74 に印加力が印加されるように構成されている。印加力はトレーニング処理中に常に存在し、ほぼ一定の大きさであってもよい。加えて、既に説明し、図 7 A ~ 7 E に示したトレーニング処理変形例 180 a ~ 180 e の実施形態はいずれも、図 7 E、7 G に示す撓み抑制器 206 a、206 b と共に使用しうる。

20

30

【0058】

本開示の別の実施形態では、構造体 164 (図 6 参照) に対して、好ましくは複合材構造体 165 (図 6 参照) に対して、形状記憶合金 (SMA) アクチュエータ 62 (図 3 A 参照) が提供される。SMA アクチュエータ 62 は、トレーニング処理された形状記憶合金 (SMA) 加工対象物 60 a (図 3 B 参照) を含む。トレーニング処理された SMA 加工対象物 60 a (図 3 B) は、SMA 加工対象物 60 の形状をほぼ矩形の形状 75 a (図 3 A 参照) からほぼ平行四辺形の形状 77 a (図 3 B 参照) に変えるラッキング運動 79 (図 3 A ~ 3 B 参照) を発生させることによって、SMA 加工対象物 60 に変態挙動を与えるため、好ましくは、前処理され、SMA 加工対象物 60 に熱サイクル 82 (図 11 参照) 及び歪みサイクル 84 (図 11 参照) を印加することによってトレーニング処理された形状記憶合金 (SMA) 加工対象物 60 (図 3 A 参照) を含む。トレーニング処理された加工対象物 60 a は SMA アクチュエータ 62 に一体化されてもよい。SMA アクチュエータ 62 は、構造体 164 の形状に作用するため、構造体 164 に埋め込まれてもよい。好ましくは、前処理された SMA 加工対象物 60 (図 3 A 参照) は熱 - 機械的処理によってトレーニング処理され、歪みサイクル 84 (図 11 参照) は SMA 加工対象物 60 に歪みを与えるエッジ方向のラッキング荷重 80 (図 11 参照) を含み、この歪みは概してせん断歪みとして特徴づけられることがある。好ましくは、少なくとも 1 つの加熱素子 124 (図 5 参照) は、SMA 加工対象物 60 の温度を変えるため、SMA 加工対象物 60 の少なくとも 1 つの部分に熱的に接続される。SMA 加工対象物 60 に印加される熱

40

50

は、SMA加工対象物60にラッキング運動79による動きを引き起こす。

【0059】

SMA加工対象物60は、SMA加工対象物60の熱処理及び成形、SMA加工対象物60の所望の形状及びサイズへの切断、及びSMA加工対象物60を一又は複数の前処理である機械加工、化学処理、切断、表面処理、表面仕上げ、接着、被覆、めっき、研磨、インターフェース開口部及び締結具開口部の追加、又は他の好適な前処理をSMA加工対象物60に施すことによって、前処理されてもよい。好ましくは、構造体164は、航空機11(図1参照)の翼14、16(図1参照)の構造桁30(図1参照)又は構造桁30の一部、航空機11(図1参照)の翼16(図1参照)の表面、回転翼航空機34(図2参照)のローターブレード40(図2参照)の構造桁44(図2参照)又は構造桁44の一部、回転翼航空機34のローターブレード40(図2参照)の表面、航空機11(図1参照)の尾部20(図1参照)、航空機11(図1参照)の尾部20(図1参照)の表面、翼、又は他の空気力学的及び非空気力学的構造体、コンポーネント、及び素子のうちの1つを備え、地上構造体及び地上ビークル、水上構造体、及び他のビークルを含む。好ましくは、構造体164は空気力学的表面を有する。トレーニング処理されたSMA加工対象物60aを有する埋め込まれたSMAアクチュエータ62は、翼14、16の構造桁30又はローターブレード40の構造桁44などの構造体164の、作動時形状などの形状に影響を及ぼし、形状の駆動又は制御を行い、次に翼14、16又はローターブレード40の作動時形状を制御する。SMAアクチュエータ62は構造体164(図6参照)に接着されてもよく、SMAアクチュエータ62は構造体164(図9A~9C参照)に機械的に取り付けられてもよく、或いはSMAアクチュエータ62は構造体164に溶接、融合、又は他の好適な方法で結合されてもよい。

【0060】

本開示の別の実施形態では、航空機11(図1参照)の翼14、16(図1参照)、或いは回転翼航空機34(図2参照)のローターブレード40(図2参照)、或いは他の好適な翼又は航空ビークル10の空気力学的表面の形状に作用するシステム222(図8B参照)が存在する。システム222は、航空機11(図1参照)の翼14、16(図1参照)、或いは回転翼航空機34(図2参照)のローターブレード40(図2参照)、或いは別の航空ビークル10(図1、2参照)又は構造体の中で使用されうる、図8Bに示した構造桁224を含む。構造桁224は、好ましくは、構造桁224に一体化されうる一又は複数の形状記憶合金(SMA)アクチュエータアセンブリ210を有する。各SMAアクチュエータアセンブリ210は、少なくとも1つの構造体164(図8A、8B参照)に、好ましくは複合材構造体165(図8A、8B参照)に埋め込まれた、少なくとも1つのトレーニング処理されたSMAアクチュエータ62a(図8A、8B参照)を備える。システム222は、少なくとも1つのトレーニング処理されたアクチュエータ62aの温度を制御するため、構造桁224に取り付けられた熱電モジュール(TEM)214(図8A~8C参照)などの形態にある温度制御システム123(図5、11参照)をさらに備える。システム222は、構造桁224が航空機11(図1参照)の翼14、16(図1参照)又は回転翼航空機34(図2参照)のローターブレード40(図2参照)の形状に作用するようにするため、少なくとも1つのトレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aに熱を印加するための少なくとも1つの加熱素子124(図5、11参照)をさらに備える。少なくとも1つのトレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aは、好ましくは、低い対気速度で揚力を高めるため翼14、16(図1参照)又はローターブレード40(図2参照)をねじり、前方飛行時には燃費性能を向上させるため翼14、16(図1参照)又はローターブレード40(図2参照)のねじれを元に戻す。以下で詳細に説明されるシステム222の各SMAアクチュエータアセンブリ210は、熱電モジュール(TEM)214(図8C参照)、TEM214をトレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aに接続する熱コネクタ216(図8D参照)、TEM214に結合された一又は複数のエラストマー部分218、及びTEM214に結合された放熱板220を備えてもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 1 】

図 8 A は、本開示の方法 3 0 0 (図 1 2 参照) の実施形態の 1 つによってトレーニング処理された S M A アクチュエータ 6 2 a など、トレーニング処理された S M A 加工対象物 6 0 a の実施形態を有する形状記憶合金 (S M A) アクチュエータアセンブリ 2 1 0 の拡大斜視図の図解である。トレーニング処理された S M A アクチュエータ 6 2 a など、トレーニング処理された S M A 加工対象物 6 0 a は、構造体 1 6 4 のスロット 2 1 2 に埋め込まれて表示されている。複合材構造体 1 6 5 などの形態にある構造体 1 6 4 は、ローターブレード 4 0 (図 2 参照) の有効な構造桁など、構造桁 2 2 4 (図 8 B 参照) との接着を可能にする形状に機械加工されてもよい。

【 0 0 6 2 】

図 8 A、8 C に示すように、形状記憶合金 (S M A) アクチュエータアセンブリ 2 1 0 は、トレーニング処理された S M A アクチュエータ 6 2 a の、例えばニチノールなどの形状記憶合金を加熱及び冷却するために使用される一又は複数の熱電モジュール (T E M) 2 1 4 をさらに備えうる。図 8 C は、熱電モジュール (T E M) 2 1 4 を示す図 8 A の点線円 8 C の拡大斜視図の図解である。図 8 C に示すように、T E M 2 1 4 は電流出力部分 2 3 0 に取り付けられたヒートポンプ熱電対部分 2 2 8 を備えうる。図 8 A に示すように、T E M 2 1 4 は一方の面上で放熱板 2 2 0 に取り付けられてもよく、他方の面上でトレーニング処理された S M A アクチュエータ 6 2 a などの形態にあるトレーニング処理された S M A 加工対象物 6 0 a に熱的に結合されてもよい。

【 0 0 6 3 】

図 8 A、8 D に示すように、形状記憶合金 (S M A) アクチュエータアセンブリ 2 1 0 は熱コネクタ 2 1 6 をさらに備えうる。熱コネクタ 2 1 6 は、T E M 2 1 4 とトレーニング処理された S M A アクチュエータ 6 2 a などのトレーニング処理された S M A 加工対象物 6 0 a との間に、熱的結合及び熱伝導を提供するために使用されてもよい。図 8 D は、熱コネクタ 2 1 6 を示す図 8 A の点線円 8 D の拡大斜視図の図解である。図 8 D に示すように、熱コネクタ 2 1 6 は基板 2 3 6 に取り付けられた繊維部分 2 3 2 を備えうる。繊維部分 2 3 2 は、例えば、炭素繊維材料、炭素ベルベット材料などの可撓性繊維材料 2 3 4、又は他の好適な可撓性繊維材料を備えうる。基板 2 3 6 は、ビニール、エポキシ、複合材、金属又は別の好適な基板材料から成ってもよい。熱コネクタ 2 1 6 は、トレーニング処理された S M A アクチュエータ 6 2 a などのトレーニング処理された S M A 加工対象物 6 0 a の形状記憶合金と T E M 2 1 4 との間に配置されてもよく、両者間の運動を可能にする。

【 0 0 6 4 】

図 8 A に示すように、形状記憶合金 (S M A) アクチュエータアセンブリ 2 1 0 は、一又は複数のエラストマー部分 2 1 8、又は S M A アクチュエータアセンブリ 2 1 0 の上部を閉め切るように使用可能である他の可撓性のある構造体又は材料をさらに備えうる。代替的に、T E M 2 1 4 を動かすことが有益なこともある。例えば、T E M 2 1 4 は、トレーニング処理されたアクチュエータ 6 2 a など、トレーニング処理された加工対象物 6 0 a の形状記憶合金材料の内面まで動かすことが可能であり、或いはトレーニング処理された S M A アクチュエータ 6 2 a などのトレーニング処理された S M A 加工対象物 6 0 a の形状記憶合金材料の非可動埋め込み部分に取り付けられてもよい。

【 0 0 6 5 】

図 8 B は、回転翼航空機 3 4 (図 2 参照) のローターブレード 4 0 (図 2 参照) に使用される、又は航空機 1 1 (図 1 参照) の翼 1 4、1 6 に使用される構造桁 2 2 4 に一体化される図 8 A の S M A アクチュエータアセンブリ 2 1 0 の拡大斜視図の図解である。トレーニング処理されたアクチュエータ 6 2 a は、低い対気速度で揚力を高めるためローターブレード 4 0 をねじり、前方飛行時には燃費性能を向上させるためローターブレード 4 0 (図 2 参照) の湾曲をねじれに戻すことができる。図 8 B に示すように、T E M 2 1 4 が摩耗ストリップ 2 2 6 に向かって動かされると、摩耗ストリップ 2 2 6 は放熱板 2 2 0 として使用されるか、放熱板 2 2 0 に付加されてもよい。温度センサ 1 2 8 (図 5 参照) は

10

20

30

40

50

、トレーニング処理されたSMA加工対象物60aの形状記憶合金材料上に、或いはトレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aなどの形態にあるトレーニング処理されたSMA加工対象物60aの形状記憶合金材料に近接する領域の構造体164(図6参照)に、接着されてもよい。歪みを測定することが必要な場合には、歪みゲージ及び熱電対に加えて、温度と歪みの両方を感知することができる埋め込み型の光ファイバーセンサ(図示せず)が使用可能である。

【0066】

機械的に取り付けられた複合材構造体165bの実施例を図9A~9Cに示す。図9Aは、構造体164、好ましくは第1の構造体166a及び第2の構造体166bなどを備える複合材構造体165(図9A参照)、並びに機械的な取り付け及び一体化に先立って、トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aなどの形態にあるトレーニング処理されたSMA加工対象物60aの実施形態の1つの拡大部分図の図解である。図9Bは、実装オペレータ238による機械的な取り付け及び一体化操作中に示される、第1の構造体166a及び第2の構造体166bなどを備える構造体164、並びにトレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aなどの形態にあるトレーニング処理されたSMA加工対象物60aの拡大部分図の図解である。

10

【0067】

図9A~9Bに示すように、トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aなどの形態にあるトレーニング処理されたSMA加工対象物60aは、トレーニング処理されたSMA加工対象物60aの第1の面72(図9B参照)を上に向けた状態で、構造体164のスロット212に滑り込ませることができる。図9Aは、締結具開口部158及びインターフェース開口部160に加えて、加熱素子124、温度センサ128及び加熱素子ワイヤ130を有するトレーニング処理されたSMA加工対象物60aの第2の面74を示す。図9A~9Bにさらに示すように、第1の構造体166a及び第2の構造体166bなどの形態にある構造体164は、スロット212及び構造体インターフェース開口部172を有する。図9Bに示すように、機械的に取り付けられた機械的複合材構造体165bを形成するため、トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aなどの形態にあるトレーニング処理されたSMA加工対象物60aが構造体164に機械的に取り付けられる場合には、トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aなどの形態にあるトレーニング処理されたSMA加工対象物60aは、好ましくは構造体164のスロット212に挿入され、トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aなどの形態にあるトレーニング処理されたSMA加工対象物60aの外表面領域156(図9A参照)上のインターフェース開口部160は、好ましくは構造体164の構造体インターフェース開口部172に位置合わせされる。既知の機械式締結具(図示せず)は、位置合わせされたインターフェース開口部160(図9A参照)及び構造体インターフェース開口部172(図9A参照)を通して挿入されてもよく、また、機械的に取り付けられた機械的複合材構造体165b(図9A参照)を形成するため、トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aなどの形態にあるトレーニング処理されたSMA加工対象物60aを構造体164に機械的に取り付けのように使用されてもよい。このような既知の機械式締結具はさらに、機械的に取り付けられた機械的複合材構造体165bを構造桁224(図9C参照)に機械的に取り付けのため使用されてもよい。

20

30

40

【0068】

図9Cは、機械的な取り付け及び一体化の後に、有効な複合材構造桁などの構造桁224に一体化されて示される、図9A~9Bの機械的に取り付けられた機械的複合材構造体165bを形成する、トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aなどの形態にある構造体164及びトレーニング処理されたSMA加工対象物60aの側面図の図解である。

【0069】

SMAアクチュエータ62などの形態にあるSMA加工対象物60、又はトレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aなどの形態にあるトレーニング処理されたSMA

50

加工対象物 60 a の実施形態に関して、SMA 加工対象物 60 又はトレーニング処理された SMA 加工対象物 60 a の形状は、アクチュエータとして機能するため、好ましくは放電加工 (EDM) デバイスによって任意の形状又は大きさ (例えば、矩形、楕円形、又は他の好適な形状) に切断されてもよい。これは、トレーニング処理装置アセンブリ 100 (図 4 参照) を有する適切なトレーニング処理システム 90 (図 11 参照) が設計されている場合には、熱 - 機械的処理の後又は熱 - 機械的処理の前に行われてもよい。EDM 切断デバイス及び工程は、大きな切断力が関係する既知の切断デバイス又は工程と比較して、SMA 加工対象物 60 又はトレーニング処理された SMA 加工対象物 60 a の残留応力を最小化するように使用することが望ましい。大きな作動力は、より大きな SMA 加工対象物 60 を要することがある。より大きな SMA 加工対象物 60 は、作動するためにはより大きな電力又はより長い時間を要することがある。SMA 加工対象物 60 の断面形状は、隙間なく適合する、すなわち空間を圧縮するために、さらに好ましい作動力及び歪みを生成するために、必要となる形状記憶合金材料の総量を最小化するように設計されてもよい。SMA 加工対象物 60 は構造体 164 (図 9C 参照) に平坦に配置されてよく、或いは構造体 164 の形状に一致するように成形されてもよい。

【0070】

SMA アクチュエータ 62 などの形状にある SMA 加工対象物 60 の別の実施形態を図 10 に示す。図 10 は、波状形状 SMA アクチュエータ 240 及び取り付けられた構造体 164、好ましくは複合材構造体 165 の実施形態の拡大平面図の図解である。図 10 は、波状形状 243 などの形態にある、波様変形 242 を有する SMA 加工対象物 60 を伴う波状形状 SMA アクチュエータ 240 を示す。本明細書で使用されているように、「波状形状」とは波打ち効果又はしわ寄せ効果を意味している。SMA アクチュエータ 62 などの形態にある SMA 加工対象物 60 に荷重が印加されると、SMA 加工対象物 60 は波状形状 SMA アクチュエータ 240 の波状形状 243 を生成する。図 10 に示すように、SMA アクチュエータ 62 などの形態にある SMA 加工対象物 60 は、接着又は機械的取り付け又は他の好適な取り付け手段によって、構造体 164 に取り付けられてもよい。図 10 にさらに示すように、SMA 加工対象物 60 の第 1 のエッジ 68 は第 1 の複合材構造体 166 a に取り付けられてもよく、SMA 加工対象物 60 の第 2 のエッジ 70 は第 2 の複合材構造体 166 b に取り付けられてもよい。さらに、印加力 244 は第 2 のエッジ 70 及び第 2 の複合材構造体 166 b に沿って印加され、反作用力 246 は第 1 のエッジ 68 及び第 1 の複合材構造体 166 a に沿って逆向きに反応する。

【0071】

図 10 に示すように、波状形状 SMA アクチュエータ 240 の歪みは、印加力 244 などの荷重に対して作用している間に実現される作動歪みの百分率として測定されてもよい。荷重 96 (図 11 参照) は、SMA 加工対象物 60 の厚み又は長さを増すことによって増やしてもよい。図 10 に示すように、変位出力 () 248 は SMA 加工対象物 60 の幅 (w) 250 を増すことによって増やしてもよい。変位又は歪みの百分率は、図 10 に示す波状形状 SMA アクチュエータ 240 の断面など、一様でない断面を使用することによって、高められうる。波状形状 SMA アクチュエータ 240 が加熱されると、波状形状 243 の波は部分的に平坦になり、より大きな運動を引き起こす。この種類の波状形状 SMA アクチュエータ 240 は、座屈を引き起こすのに十分な高荷重下に SMA 加工対象物 60 を配置することによって形成されてもよく、或いは SMA 加工対象物 60 の熱処理及び成形時に形成されてもよい。座屈する前に高荷重を維持することができる SMA 加工対象物 60 を構築するため、矩形でない断面を使用してもよい。締結具開口部 158 (図 5 参照) 及びインターフェース開口部 160 (図 5 参照) は、トレーニング処理装置アセンブリ 100 (図 4 参照) 内に、SMA アクチュエータ 62 などの形態にある SMA 加工対象物 60 を固定するように、或いは構造桁 30 (図 1 参照)、構造桁 44 (図 2 参照)、構造桁 224 (図 8B 参照) などの構造体、または別の好適な構造体内に、トレーニング処理された SMA アクチュエータ 62 a などの形態にあるトレーニング処理された SMA 加工対象物 60 a を固定するように、波状形状 SMA アクチュエータ 240 に追加され

10

20

30

40

50

てもよい。

【0072】

SMAアクチュエータ62などの形態にあるSMA加工対象物60の作動応答時間は、印加される熱及び形状記憶合金の熱を伝導する能力に依存することがある。典型的な形状記憶合金はごくわずかに熱を伝導する。例えば、ニチノールの熱伝導率はアルミニウムのおよそ25分の1である。SMA加工対象物60の質量は薄板に分布するため、SMA加工対象物60の応答時間は、単位面積あたりの印加熱エネルギーの所定の入力に対して速くなることがある。熱を印加する面積がより広いと、SMA加工対象物60は薄いため、熱がSMA加工対象物60を伝導する時間は短くなる。SMA加工対象物60は、力-重量比を改善するため、好ましくは多孔質であってもよく、これにより加熱/冷却時間を短くすることができる。

10

【0073】

応答時間を加速するため、狭い加熱帯が使用されてもよい。本明細書で使用されているように、「加熱範囲」とは、温度領域内でマルテンサイト相86(図11参照)からオーステナイト相88(図11参照)まで完全に変態するのに要する温度変化を意味する。熱の大部分は相変態に使用されうるため、ニチノールの最も急速な変態は、小さな温度上昇のみを要する20%から80%までの作動範囲に見られることがある。したがって、完全な変態が実行されるまでSMAアクチュエータ62などの形態にあるSMA加工対象物60が10%~20%の部分的な変態の近傍に保持される場合には、次にSMAアクチュエータ62などの形態にあるSMA加工対象物60が80%~90%の変態に達して、適切な作動が観察されるまで急速に熱が印加される。

20

【0074】

トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aの形状制御は、複数のトレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aを使用することによって、又は形状記憶合金材料の一部のみを加熱/冷却することによって実現されることがある。例えば、構造体164に配置された複数のトレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aは、互いに独立に作動されることがある。トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aの各々は、構造体164又は一体化される他の構造体の局所的な曲げ又はねじれを生成することがある。種々の変形された形状は、トレーニング処理されたアクチュエータ62aの種々の組み合わせを作動させることによって生成されてもよい。代替的に、単一のトレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aは、例えば温度勾配などの温度変動125(図11参照)がトレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aに生成されるように、加熱されてもよい。トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62a内に生成される歪み94(図11参照)の程度は、局所温度に依存することがある。温度勾配などの形態にある温度変動125を制御することにより、トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aの全域で歪みプロファイル98(図11参照)を制御することができる。これにより、トレーニング処理されたSMAアクチュエータ62aが埋め込まれる構造体164(図11参照)又は他の構造体の形状の制御を考慮することができる。

30

【0075】

既に述べたように、図11は、荷重96及び歪みプロファイル98を有するSMAアクチュエータ62などの形態にあるSMA加工対象物60のトレーニング処理に使用されるトレーニング処理システム90を示す。図11に示すように、トレーニング処理システム90はトレーニング処理変形例180(図7A~7Gも参照)をさらに含む。図11に示すように、トレーニングシステム90は、接着された複合材構造体165a(図6参照)及び機械的複合材構造体165b(図9B参照)を含みうる複合材構造体165などの構造体164(図6参照)をさらに備える。図11に示すように、トレーニング処理システム90は、RAMデバイス104又はリニアアクチュエータ105などの荷重印加デバイス102(図4も参照)を有するトレーニング処理装置アセンブリ100(図4も参照)をさらに備える。図11に示すように、トレーニング処理システム90は、リニアスライドデバイス114(図4参照)などの形態にあるスライドデバイス112(図4も参照)

40

50

をさらに備える。一又は複数の印加荷重 1 8 6 (図 1 1 参照) は、荷重印加デバイス 1 0 2 (図 4、 1 1 参照) によってリニアスライドデバイス 1 1 4 (図 4 参照) に印加されてもよい。

【 0 0 7 6 】

図 1 1 に示すように、トレーニング処理システム 9 0 は、トレーニング処理装置アセンブリ 1 0 0 内の S M A アクチュエータ 6 2 などの形態にある S M A 加工対象物 6 0 を保持するため、クランプ 1 1 8 (図 4 参照) などの形態にある位置又は複数の保持素子 1 1 6 をさらに備える。保持素子 1 1 6 は、荷重印加デバイス 1 0 2 からリニアスライドデバイス 1 1 4 (図 4 参照) に印加された一又は複数の印加荷重 1 8 6 の結果として、リニアスライドデバイス 1 1 4 (図 4 参照) からの一又は複数の反作用荷重 1 8 8 (図 1 1 参照) に反応することがある。

10

【 0 0 7 7 】

図 1 1 に示すように、トレーニング処理システム 9 0 は、一又は複数の加熱素子 1 2 4 を備え、且つ温度変動 1 2 5 (図 1 1) 及び熱サイクル 8 2 (図 1 1 参照) を制御するための温度制御システム 1 2 3 (図 5 も参照) をさらに備える。図 1 1 に示すように、トレーニング処理システム 9 0 は、ソフトウェア 1 3 8 を実行及び処理するためのプロセッシングユニット 1 3 6 を含みうるコンピュータデバイス 1 3 4 を含むコントローラデバイス 1 3 2 (図 5 も参照) をさらに備える。

【 0 0 7 8 】

図 1 1 に示すように、トレーニング処理システム 9 0 は、好ましくは、S M A アクチュエータ 6 2 などの形態にある S M A 加工対象物 6 0 の運動及び性能を測定する性能測定素子 1 4 0 (図 4 も参照) を含む性能測定システム 9 2 をさらに備える。運動によって生成される歪み 9 4 (図 1 1 参照) は、性能測定素子 1 4 0 によって測定可能である。トレーニング処理が完了すると、トレーニング処理された S M A アクチュエータ 6 2 a などの形態にあるトレーニング処理された S M A 加工対象物 6 0 a は加熱及び冷却によって有効になり、トレーニング処理された S M A アクチュエータ 6 2 a などの形態にあるトレーニング処理された S M A 加工対象物 6 0 a の性能 1 0 8 (図 1 1 参照) は、性能測定素子 1 4 0 (図 1 1 参照) を使用して測定され、性能測定値 1 1 0 (図 1 1 参照) は記録され分析される。

20

【 0 0 7 9 】

任意の数の他のシステムが含まれていてもよい。航空宇宙産業の例を示したが、本開示の原理は、自動車産業などの他の産業にも適用しうる。

30

【 0 0 8 0 】

既存の方法及びシステムと比較して、方法 3 0 0 (図 1 2 参照) 及びトレーニング処理システム 9 0 (図 1 1 参照) の開示されている実施形態は、以下の有利な特徴を包含する。すなわち、これらの実施形態は、構造体 1 6 4 (図 9 C 参照) に、好ましくは複合材構造体 1 6 5 (図 9 C 参照) に結合されうる、或いは構造体 1 6 4 に一体化又は埋め込みされうる、トレーニング処理された S M A アクチュエータ 6 2 a (図 3 B 参照) などのトレーニング処理された形状記憶合金 (S M A) 加工対象物 6 0 a (図 3 B 参照) を提供し、構造体 1 6 4 は、翼 1 4、 1 6 (図 1 参照)、ローターブレード 4 0 (図 2 参照) の構造桁 3 0 (図 1 参照) 又は構造桁 3 0 の一部、構造桁 4 4 (図 2 参照) 又は構造桁 4 4 の一部、或いは構造桁 2 2 4 (図 9 C 参照) 又は構造桁 2 2 4 の一部、或いは構造体の大きさ及び重量に最小限の影響を与える又は全く影響を与えない他の空気力学的表面を備えうる。これらの実施形態は、翼 1 4、 1 6 (図 1 参照)、ローターブレード 4 0 (図 2 参照)、及び構造体の大きさ及び重量に最小限の影響を与える又は全く影響を与えない他の空気力学的制御表面を制御することを提供する。これらの実施形態は、構造体に作用しうるトレーニング処理された S M A アクチュエータ 6 2 a などのトレーニング処理された S M A 加工対象物 6 0 a を製造することを提供する。これらの実施形態は、構造体の作動された形状を一体化する、分散する、及び制御する方法を提供する。これらの実施形態は、トレーニング処理された S M A アクチュエータ 6 2 a などの形態にあるトレーニング処理され

40

50

たSMA加工対象物60aを空気力学的表面に埋め込むことを提供する。これらの実施形態は、空気力学的構造体を取得すること、及びその形状を非線形的な方法で変更すること、及び空気力学的構造体の変形を可能にすることを提供する。これらの実施形態は、SMAアクチュエータ62などの形態にあるSMA加工対象物60をトレーニング処理するためのトレーニング処理システム90を提供し、これによって、SMAツイストチューブアクチュエータ及び/又はSMAアクチュエータなどの既知の電磁アクチュエータ及び既知の形状記憶合金アクチュエータ、又はトレーニング処理されたワイヤ、チューブ及びプレートを使用するアクチュエータ用のコンポーネントの使用は、回避すること又は最小限に抑えることが可能で、さらには構造体及び航空ビークルの重量を低減することができ、さらには運航時の航空ビークルによって発生する燃料コストを低減することができる。

10

【0081】

さらに、本開示は、下記の条項による実施形態を含む。

【0082】

第1条項 形状記憶合金(SMA)加工対象物をトレーニング処理する方法であって、前記SMA加工対象物に概して平面的な変態挙動を与えて、トレーニング処理された形状記憶合金(SMA)加工対象物を得るため、形状記憶合金(SMA)加工対象物に偶力を印加することを含む方法。

【0083】

第2条項 前記偶力を印加することは、エッジ方向のラッキング荷重が前記SMA加工対象物に印加されるように対向する力を印加することを含む、第1条項に記載の方法。

20

【0084】

第3条項 前記偶力を印加することは、波様変形が前記SMA加工対象物で生成されるように対向する力を印加することを含む、第1条項に記載の方法。

【0085】

第4条項 前記偶力を印加することは、概して非波状 波状変態挙動を前記SMA加工対象物に与える対向する力を印加することを含む、第1条項に記載の方法。

【0086】

第5条項 前記SMA加工対象物に熱サイクルを印加すること；及び前記SMA加工対象物が前記概して平面的な変態挙動を有するようにするため、循環的な方法で前記偶力を印加することによって、ほぼ平面的な歪みサイクルを前記SMA加工対象物に与えることをさらに含む、第1条項に記載の方法。

30

【0087】

第6条項 前記熱サイクルを印加することは、前記SMA加工対象物の形状をほぼ矩形の形状からほぼ平行四辺形の形状に変化させるラッキング運動を生成するため、前記SMA加工対象物に熱を印加することを含む、第5条項に記載の方法。

【0088】

第7条項 一又は複数の構造体に前記トレーニング処理されたSMA加工対象物を結合することをさらに含む、第1条項に記載の方法。

【0089】

第8条項 前記一又は複数の構造体は、前記トレーニング処理されたSMA加工対象物の温度変化に応答して形状を変えることができる、第7条項に記載の方法。

40

【0090】

第9条項 前記トレーニング処理されたSMA加工対象物をSMAアクチュエータに一体化すること、及び前記構造体の形状に作用するように航空ビークルの構造体に前記SMAアクチュエータを埋め込むことをさらに含む、第1条項に記載の方法。

【0091】

第10条項 加工を実施することができるトレーニング処理システムであって、概して平面的な変態挙動を示す形状記憶合金(SMA)；及び前記SMAアクチュエータを元の形状からトレーニング処理された形状に変態させるこ

50

とによって加工を実施するための一又は複数の加熱素子を含むシステム。

【0092】

第11条項 前記形状記憶合金(SMA)アクチュエータは、前記概して平面的な変態挙動を示すトレーニング処理された形状記憶合金(SMA)加工対象物をさらに備える、第10条項に記載のシステム。

【0093】

第12条項 前記形状記憶合金(SMA)アクチュエータは、トレーニング処理された形状記憶合金(SMA)加工対象物をさらに備え、前記トレーニング処理されたSMA加工対象物は、SMA加工対象物に偶力を印加することによってトレーニング処理され、前記SMA加工対象物に前記概して平面的な変態挙動を与える、第10条項に記載のシステム。

10

【0094】

第13条項 前記システムは運動を与え、これによって加工を実施することができる、第10条項に記載のシステム。

【0095】

第14条項 荷重印加デバイス及び温度制御システムを有するトレーニング処理装置アセンブリをさらに備え、前記荷重印加デバイスは前記SMAアクチュエータにエッジ方向のラッキング荷重を印加し、前記温度制御システムは一又は複数の加熱素子を制御して前記SMAアクチュエータに温度変動を印加し、前記SMAアクチュエータの形状を、ほぼ矩形の形状を含む前記元の形状から、ほぼ平行四辺形の形状を含む前記トレーニング処理された形状に変化させるラッキング運動を生成する、第10条項に記載のシステム。

20

【0096】

第15条項 概して平面的な変態挙動を有する少なくとも1つのトレーニング処理された形状記憶合金(SMA)加工対象物を備える構造体であって、前記少なくとも1つのトレーニング処理されたSMA加工対象物は構造体に結合されており、前記少なくとも1つのトレーニング処理されたSMA加工対象物の温度変化に応答して適合可能である構造体。

【0097】

第16条項 前記構造体は、航空ビークル内に構造桁を備える、第15条項に記載の構造体。

30

【0098】

第17条項 前記構造桁は閉じられた断面を有し、互いにほぼ対向するように配置された少なくとも2つのトレーニング処理された形状記憶合金(SMA)加工対象物を含む、第16条項に記載の構造体。

【0099】

第18条項 前記少なくとも1つのトレーニング処理されたSMA加工対象物は、前記構造体に埋め込まれて航空力学的表面に作用するように構成されているトレーニング処理された形状記憶合金(SMA)アクチュエータを備える、第15条項に記載の構造体。

【0100】

第19条項 前記少なくとも1つのトレーニング処理された加工対象物は形状記憶合金(SMA)アクチュエータに一体化され、前記SMAアクチュエータは前記構造体に接着され又は機械的に取り付けられ、前記構造体の形状に作用するように構成されている、第15条項に記載の構造体。

40

【0101】

第20条項 前記少なくとも1つのトレーニング処理されたSMA加工対象物は、SMA加工対象物に偶力を印加することによってトレーニング処理され、前記SMA加工対象物に前記概して平面的な変態挙動を与え、且つ前記SMA加工対象物に熱サイクルを印加することによって、前記SMA加工対象物の形状をほぼ矩形の形状からほぼ平行四辺形の形状に変化させるラッキング運動を生成する、第15条項に記載の構造体。

【0102】

50

上述の説明及び関連する図面に示した教示の利点を有する本開示に関連する当業者であれば、本開示の多数の変形例および他の実施形態が想起されよう。本明細書に記載した実施形態は、例示することを意図したものであって、限定的又は網羅的であることを意図していない。本明細書では特定の用語を使用しているが、単に一般的且つ説明のために使用したものであり、限定を目的とするものではない。

【符号の説明】

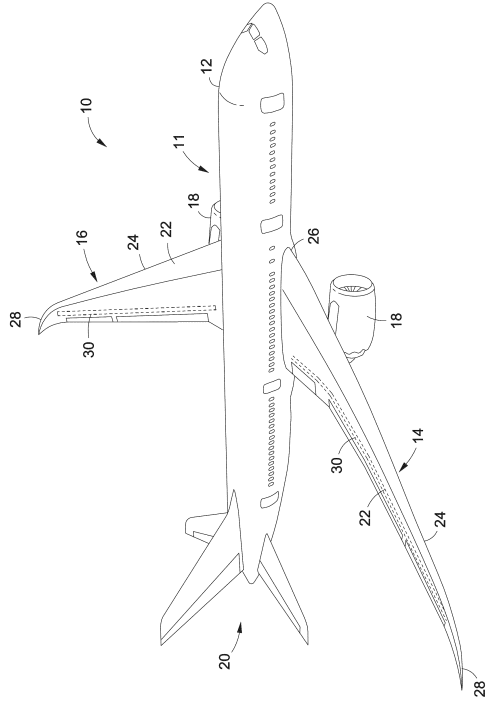
【0103】

10	航空ビークル	
11	航空機	
12	胴体	10
14、16	翼	
18	推進ユニット	
20	尾部	
22	上方翼外板	
24	下方翼外板	
26	翼付け根	
28	翼端	
30	構造桁	
34	回転翼航空機	
36	胴体	20
38	尾部支材	
40	ローターブレード	
42	ハブ	
44	構造桁	
46	ブレード付け根	
48	ブレード先端	
60	SMA加工対象物	
60a	トレーニング処理されたSMA加工対象物	
61	形状記憶合金原材料	
62	SMAアクチュエータ	30
62a	トレーニング処理されたSMAアクチュエータ	
63	初期形状	
64	第1の端部	
66	第2の端部	
68	第1のエッジ	
70	第2のエッジ	
72	第1の面	
74	第2の面	
75	元の形状	
75a	矩形	40
76	偶力	
76a	第1の対向する力	
76b	第2の対向する力	
77	トレーニング処理された形状	
77a	平行四辺形	
78	概して平面的な変態挙動	
79	ラッキング運動	
80	エッジ方向のラッキング荷重	
81	非波状 波状変態挙動	
82	熱サイクル	50

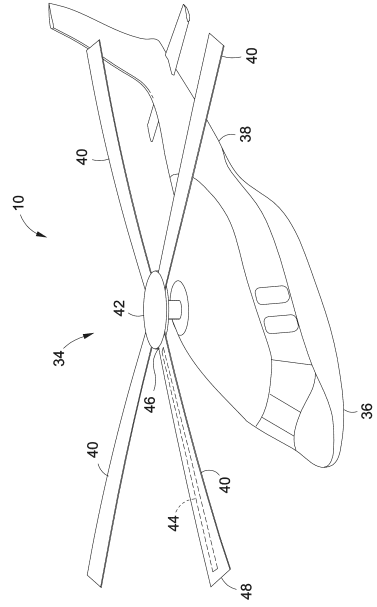
8 4	歪みサイクル	
8 6	マルテンサイト相	
8 8	オーステナイト相	
9 0	トレーニング処理システム	
9 2	性能測定システム	
9 4	生成された歪み	
9 6	荷重	
9 8	歪みプロファイル	
1 0 0	トレーニング処理装置アセンブリ	
1 0 2	荷重印加デバイス	10
1 0 4	R A Mデバイス	
1 0 5	リニアアクチュエータ	
1 0 6	レギュレータデバイス	
1 0 8	性能	
1 1 0	性能測定値	
1 1 2	スライドデバイス	
1 1 4	リニアスライドデバイス	
1 1 6	保持素子	
1 1 8	クランプ	
1 2 0	孔	20
1 2 2	支持構造体	
1 2 3	温度制御システム	
1 2 4	加熱素子	
1 2 5	温度変動	
1 2 6	加熱テープ	
1 2 8	温度センサ	
1 2 9	熱電対デバイス	
1 3 0	加熱素子ワイヤ	
1 3 1	コネクタ	
1 3 2	コントローラデバイス	30
1 3 2	制御デバイス	
1 3 3	センサワイヤ	
1 3 4	コンピュータデバイス	
1 3 6	プロセッシングユニット	
1 3 8	ソフトウェア	
1 4 0	性能測定素子	
1 4 2	センサ	
1 4 4	レーザー位置センサ	
1 4 6	筐体素子	
1 5 0	基板結合構造体	40
1 5 2	ほぼ平坦な表面	
1 5 4	アクチュエータ領域	
1 5 6	外表面領域	
1 5 8	締結具開口部	
1 6 0	インターフェース開口部	
1 6 2	アクチュエータフレームピース	
1 6 4	構造体	
1 6 5	複合材構造体	
1 6 5 a	接着された複合材構造体	
1 6 5 b	機械的複合材構造体	50

1 6 6 a	第 1 の構造体	
1 6 6 b	第 2 の構造体	
1 6 8 a、1 6 8 b	取付エッジ	
1 7 0 a、1 7 0 b	非取付エッジ	
1 7 2	構造体インターフェース開口部	
1 7 4	拡張された接着領域	
1 8 0	トレーニング処理変形例	
1 8 0 a ~ 1 8 0 f	トレーニング処理変形例	
1 8 2	第 1 の非固定領域	
1 8 4	第 2 の非固定領域	10
1 8 6	印加された荷重	
1 8 6	印加荷重	
1 8 6 a ~ 1 8 6 e	印加力	
1 8 8	反作用荷重	
1 8 8 a ~ 1 8 8 e	反作用力	
1 9 0、1 9 2	反作用力	
1 9 4	フレーム素子	
1 9 6	適合性材料	
1 9 8	ヒンジ部分	
2 0 0、2 0 2	反作用力	20
2 0 4	隅部	
2 0 6 a、2 0 6 b	撓み抑制器	
2 0 8	アセンブルされた位置	
2 1 0	形状記憶合金アクチュエータアセンブリ	
2 1 2	スロット	
2 1 4	熱電モジュール	
2 1 6	熱コネクタ	
2 1 8	エラストマー部分	
2 2 0	放熱板	
2 2 2	システム	30
2 2 4	構造桁	
2 2 6	摩耗ストリップ	
2 2 8	ヒートポンプ熱電対部分	
2 3 0	電流出力部分	
2 3 2	繊維部分	
2 3 4	可撓性繊維材料	
2 3 6	基板	
2 3 8	実装オペレータ	
2 4 0	波状形状 S M A アクチュエータ	
2 4 2	波様変形	40
2 4 3	波状形状	
2 4 4	印加力	
2 4 6	反作用力	
2 4 8	変位出力	
2 5 0	幅	
	幅	
	変位出力	

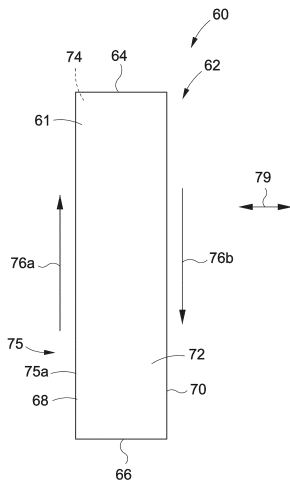
【 図 1 】



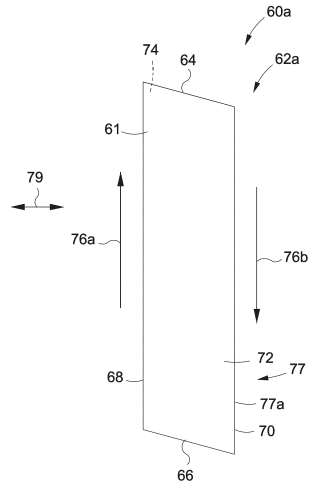
【 図 2 】



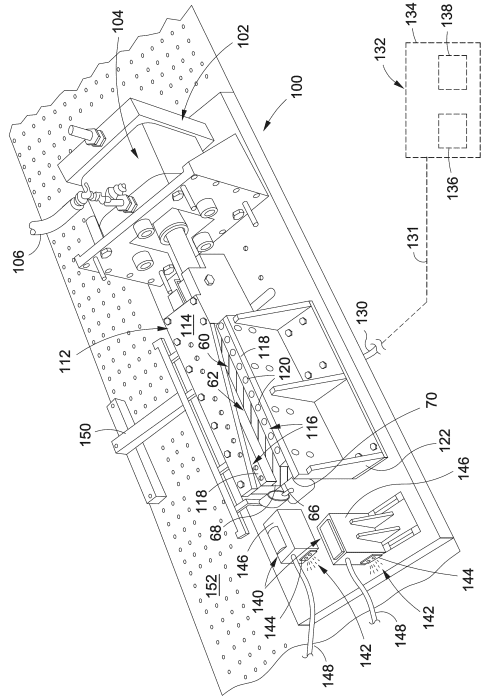
【 図 3 A 】



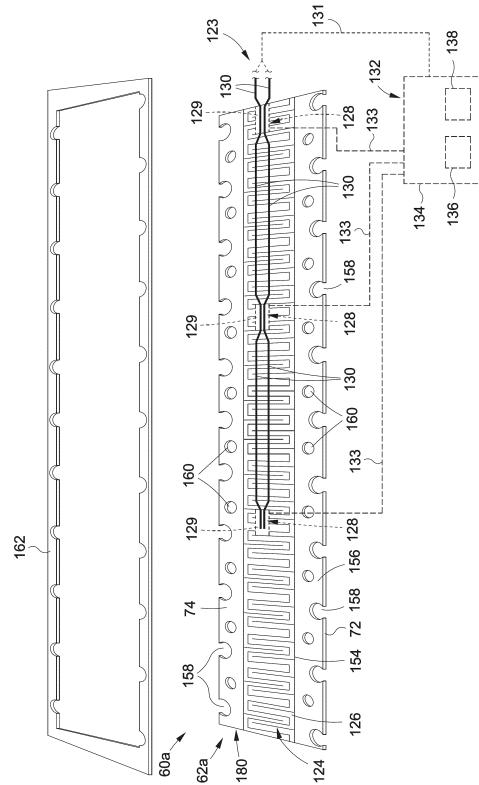
【 図 3 B 】



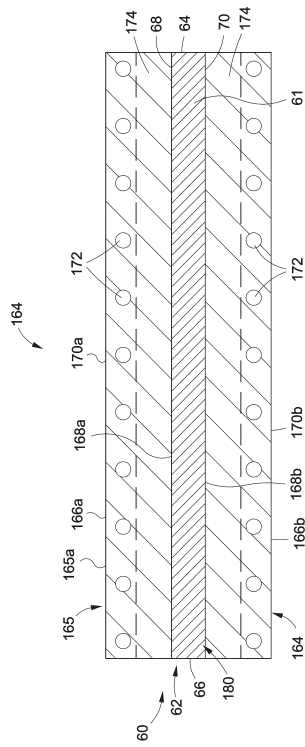
【 図 4 】



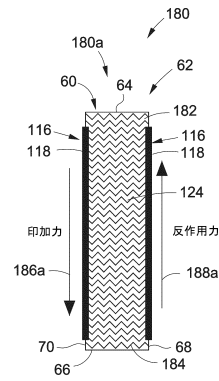
【 図 5 】



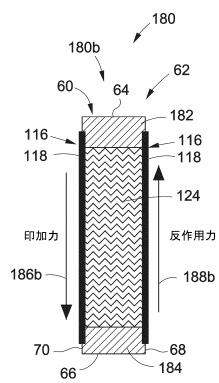
【 図 6 】



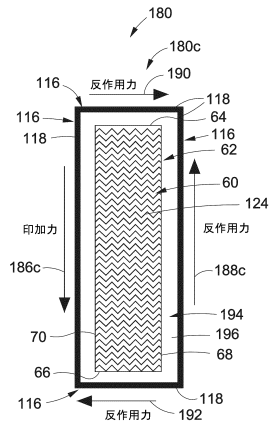
【 図 7 A 】



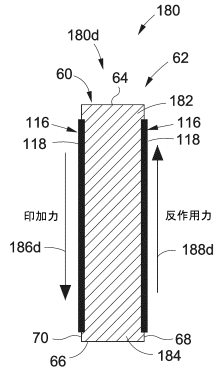
【 図 7 B 】



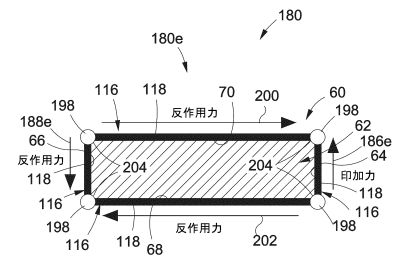
【図7C】



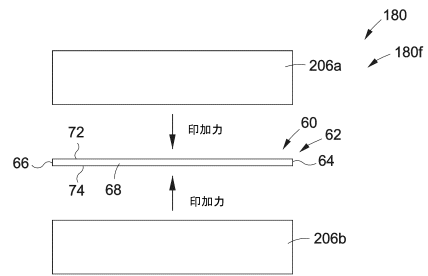
【図7D】



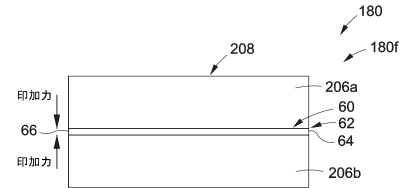
【図7E】



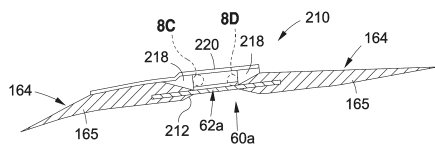
【図7F】



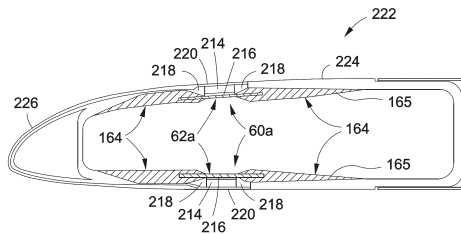
【図7G】



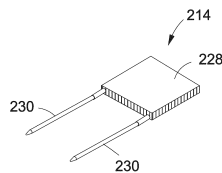
【図8A】



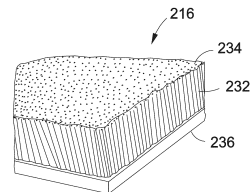
【図8B】



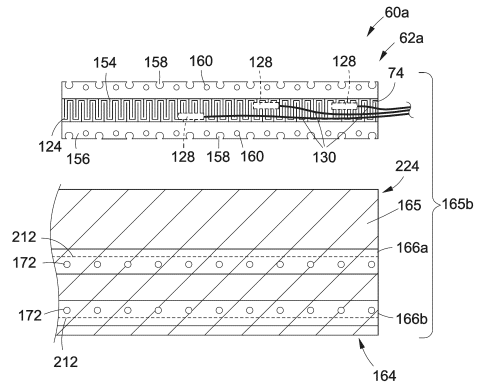
【図8C】



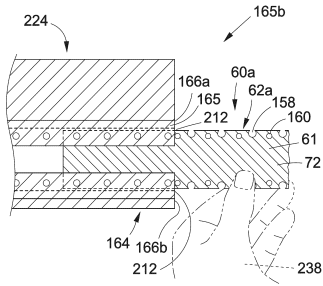
【図8D】



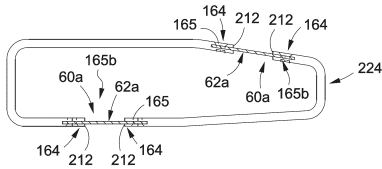
【図9A】



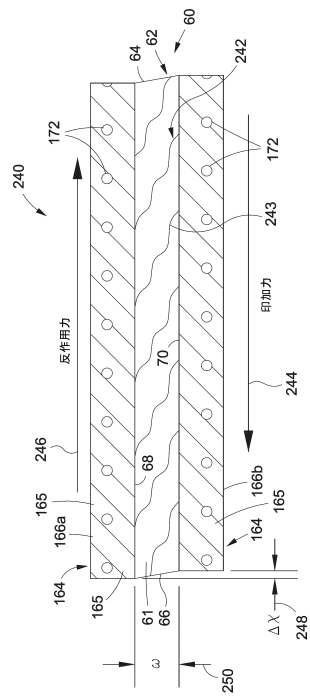
【図9B】



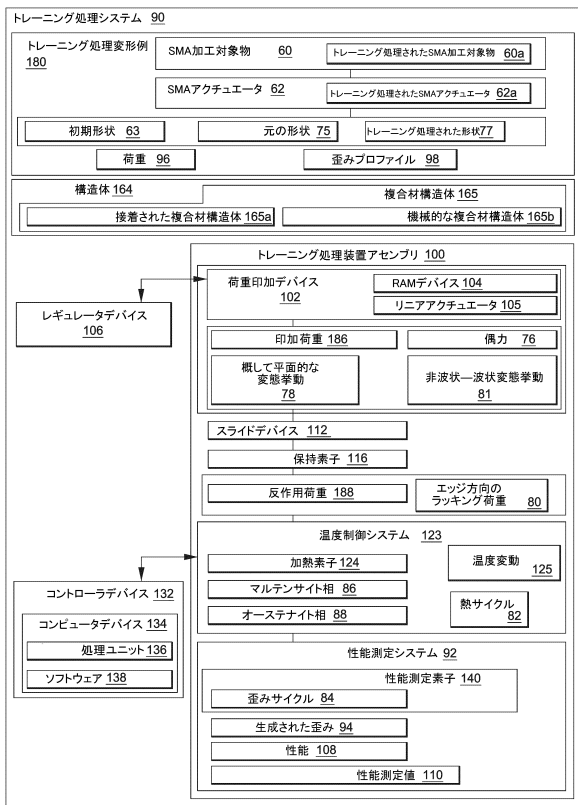
【図9C】



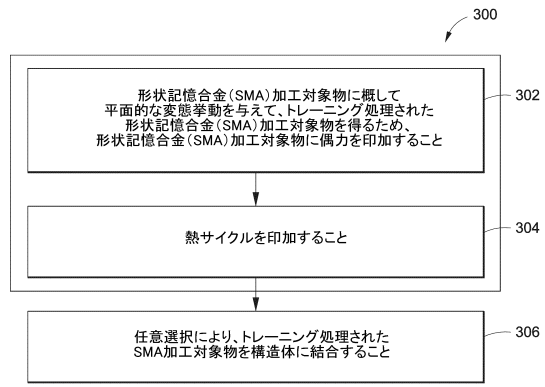
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
C 2 2 F 1/00 6 9 1 Z

(72)発明者 ブッシュネル, グレン スコット
アメリカ合衆国 ワシントン 9 8 3 7 4 , ピュアラップ, 1 6 番 ストリート サウスイ
スト 2 9 0 1

(72)発明者 クリングマン, ダン ジェー.
アメリカ合衆国 ワシントン 9 8 3 5 4 , ミルトン, テイラー ストリート 2 0 6 2

審査官 川村 裕二

(56)参考文献 特開昭60-070167(JP,A)
特開2001-099770(JP,A)
実開平04-100997(JP,U)
米国特許出願公開第2009/0212158(US,A1)
特開2014-015928(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C 2 2 F 1 / 0 0 - 1 / 1 8
B 6 4 C 1 3 / 2 4