

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6736477号  
(P6736477)

(45) 発行日 令和2年8月5日(2020.8.5)

(24) 登録日 令和2年7月17日(2020.7.17)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>FO2C</b>	<b>7/00</b>	<b>(2006.01)</b>	FO2C	7/00	A
<b>FO1D</b>	<b>25/00</b>	<b>(2006.01)</b>	FO2C	7/00	C
			FO2C	7/00	D
			FO1D	25/00	V
			FO1D	25/00	X

請求項の数 15 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2016-569635 (P2016-569635)	(73) 特許権者	390041542
(86) (22) 出願日	平成27年5月18日 (2015.5.18)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
(65) 公表番号	特表2017-533367 (P2017-533367A)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州 123
(43) 公表日	平成29年11月9日 (2017.11.9)		45、スケネクタデイ、リバーロード、1
(86) 国際出願番号	PCT/US2015/031289		番
(87) 国際公開番号	W02015/183602	(74) 代理人	100105588
(87) 国際公開日	平成27年12月3日 (2015.12.3)		弁理士 小倉 博
審査請求日	平成30年5月15日 (2018.5.15)	(74) 代理人	100129779
(31) 優先権主張番号	14/292,015		弁理士 黒川 俊久
(32) 優先日	平成26年5月30日 (2014.5.30)	(74) 代理人	100113974
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		弁理士 田中 拓人
		(72) 発明者	ワード、ジョン・デイヴィッド、ジュニア
			アメリカ合衆国、サウスカロライナ州・2
			9615、グリーンヴィル、ガーリングト
			ン・ロード、300番
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 タービン部品に歪みセンサーを製造するための方法、タービン部品上に歪みセンサを製造し利用する方法、及び、歪みセンサを含むタービン部品

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

タービン部品(10)上に歪みセンサ(40)を製造する方法(100)であって、  
 外面(11)を含む前記タービン部品(10)を設けるステップ(110)と、  
 前記外面(11)の部分上にセラミック材料(30)を堆積装置(20)が堆積させる  
 ステップ(120)と、  
 少なくとも2つの基準点(41、42)を含む歪みセンサ(40)を形成するようにレ  
 ーザ(25)を使用して前記セラミック材料(30)の前記基準点(41、42)に対応  
 する部分(12、45)を除去するステップ(130)と、  
 前記セラミック材料(30)が除去された所に、前記セラミック材料(30)と視覚的に  
 10 区別して認識できる材料(35)を堆積させるステップ(140)と、  
 を含む、方法(100)。

【請求項2】

前記セラミック材料(30)の前記少なくとも部分(12、45)を除去する前記ステッ  
 プ(130)の前に、前記セラミック材料(30)を焼結させるステップをさらに含む、  
 請求項1記載の方法(100)。

【請求項3】

前記セラミック材料(30)の前記少なくとも部分(12、45)を除去する前記ステッ  
 プ(130)の後に、前記セラミック材料(30)を焼結させるステップをさらに含む、  
 請求項1または2に記載の方法(100)。

## 【請求項 4】

前記タービン部品（10）はニッケルまたはコバルトベースの超合金を含む、請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の方法（100）。

## 【請求項 5】

前記セラミック材料（30）はイットリア安定化ジルコニアを含む、請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の方法（100）。

## 【請求項 6】

前記セラミック材料（30）の前記少なくとも部分（12、45）を除去する前記ステップ（130）は、前記レーザ（25）の複数の経路を含む、請求項 1 乃至 5 いずれかに記載の方法（100）。

10

## 【請求項 7】

前記セラミック材料（30）の前記少なくとも部分（12、45）を除去する前記ステップ（130）は、一意識別子（47）を形成するステップをさらに含む、請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の方法（100）。

## 【請求項 8】

堆積装置（20）を使用して、前記外面（11）の第 2 の部分上に追加セラミック材料（35）を堆積させるステップ（140）と、少なくとも 2 つの基準点（41、42）を含む第 2 の歪みセンサ（40）を形成するように前記レーザ（25）を使用して前記追加セラミック材料（35）の少なくとも部分を除去するステップとをさらに含む、請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の方法（100）。

20

## 【請求項 9】

外面（11）を含むタービン部品（10）を設けるステップ（210）と、前記外面（11）の部分上にセラミック材料（30）を堆積させるステップ（220）と、

少なくとも 2 つの基準点（41、42）を含む歪みセンサ（40）を形成するようにレーザ（25）を使用して前記セラミック材料（30）の前記基準点（41、42）に対応する部分（12、45）を除去するステップ（230）と、

前記セラミック材料（30）が除去された所に、前記セラミック材料（30）と視覚的に区別して認識できる材料（35）を堆積させるステップ（140）と、

前記タービン部品（10）を監視するステップであって、前記監視するステップが、

30

第 1 の時間に、前記歪みセンサ（40）の前記少なくとも 2 つの基準点（41、42）のうちの 1 つである第 1 の基準点（41）と、前記歪みセンサ（40）の前記少なくとも 2 つの基準点（41、42）のうちの 1 つである第 2 の基準点（42）との間の第 1 の距離（D）を測定するステップ（240）と、

第 2 の時間に、前記歪みセンサ（40）の前記少なくとも 2 つの基準点（41、42）のうちの 1 つである第 1 の基準点（41）と、前記歪みセンサ（40）の前記少なくとも 2 つの基準点（41、42）のうちの 1 つである第 2 の基準点（42）との間の第 2 の距離（D）を測定するステップ（260）と、

前記第 2 の距離（D）を、第 1 の距離（D）と比較するステップ（270）と、を含む、方法（200）。

40

## 【請求項 10】

前記第 1 の時間と前記第 2 の時間との間で、タービン内の前記タービン部品（10）を利用するステップ（250）をさらに含む、請求項 9 に記載の方法（200）。

## 【請求項 11】

前記タービン部品（10）はニッケルまたはコバルトベースの超合金を含む、請求項 9 または 10 に記載の方法（200）。

## 【請求項 12】

前記セラミック材料（30）はイットリア安定化ジルコニアを含む、請求項 9 乃至 11 のいずれかに記載の方法（200）。

50

**【請求項 1 3】**

高温ガス経路または燃焼部品を含むタービン部品（10）であって、  
外面（11）と、

前記外面（11）の部分上に堆積されている歪みセンサ（40）であり、少なくとも2つの基準点（41、42）を含む部分的に除去されたセラミック材料（30）を含む、歪みセンサ（40）と、

前記セラミック材料（30）が除去された所に配置された、前記セラミック材料（30）と視覚的に区別して認識できる材料（35）と、  
を含み、

前記少なくとも2つの基準点（41、42）は、前記セラミック材料（30）と視覚的に区別して認識できる前記材料（35）により少なくとも部分的により隔てられ、

前記セラミック材料（30）と視覚的に区別して認識できる前記材料（35）は、その位置を視覚的に強調することにより、前記少なくとも2つの基準点（41、42）の認識を容易にする、タービン部品（10）。

**【請求項 1 4】**

前記タービン部品（10）はニッケルまたはコバルトベースの超合金を含む、請求項 1 3 に記載のタービン部品（10）。

**【請求項 1 5】**

前記セラミック材料（30）はイットリア安定化ジルコニアを含む、請求項 1 3 または 1 4 に記載のタービン部品（10）。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本明細書に開示されている主題は歪みセンサに関し、より具体的には、高温用途のために、タービン部品上にセラミック歪みセンサを製造する方法に関する。

**【背景技術】****【0002】**

例えば航空機エンジンなどのガスタービンエンジンでは、空気がエンジンの前部内へ引き込まれ、シャフト取付け型回転式圧縮機により圧縮され、燃料と混合される。該混合物が燃焼し、高温排ガスは、シャフト上に取り付けられているタービンを通過する。該ガス流はタービンを回転させ、それによりシャフトが回転し、圧縮機およびファンを駆動する。高温排ガスはエンジンの背部から流動し、該エンジンを駆動し、航空機を前進させる。

**【0003】**

ガスタービンエンジンの動作中、燃焼ガスの温度は、これらのガスと接触しているエンジンの金属パーツの融解温度よりかなり高い3,000°Fを超える可能性がある。金属パーツの融解温度より高いガス温度でのこれらエンジンの動作は、1つまたは複数の保護コーティングに、かつ/または様々な方法により金属パーツの外面に冷却用空気を供給することに、部分的に左右される可能性がある。高温に特に晒され、したがって冷却に関する特別な注意を必要とするこれらエンジンの金属パーツは、燃焼器および燃焼器の後ろに配置されているパーツを形成している金属パーツである。

**【0004】**

さらに、タービン部品は、その動作寿命に亘って、様々な力による応力および/または歪みに見舞われる可能性がある。比較的標準的な環境において与えられた応力および歪みを測定するのに様々なツールを利用してよいが、タービンエンジンのタービン部品は、そのような測定ツールに適さない可能性がある、より高温のかつ/またはより腐食性の動作条件に直面する可能性がある。

**【0005】**

したがって、代替的歪みセンサ、およびタービン部品上にセラミック歪みセンサを製造する代替的方法が、当該技術において歓迎されると考えられる。

**【先行技術文献】**

10

20

30

40

50

## 【特許文献】

【0006】

【特許文献1】米国特許出願公開第2013/0202192号明細書

## 【発明の概要】

【0007】

一実施形態では、タービン部品上に歪みセンサを製造する方法が開示されている。本方法は、外面を含むタービン部品を設けるステップと、外面の部分上にセラミック材料を堆積させるステップとを含む。本方法は、少なくとも2つの基準点を含む歪みセンサを形成するようにレーザを使用してセラミック材料の少なくとも部分を除去するステップをさらに含む。

10

【0008】

別の実施形態では、タービン部品を監視する方法が開示されている。本方法は、外面を含むタービン部品を設けるステップと、外面の部分上にセラミック材料を堆積させるステップと、少なくとも2つの基準点を含む歪みセンサを形成するようにレーザを使用してセラミック材料の少なくとも部分を除去するステップとを含む。本方法は、第2の時間間隔に、歪みセンサの少なくとも2つの基準点の第1と歪みセンサの少なくとも2つの基準点の第2との間の第2の距離を測定するステップをさらに含む。最後に、本方法は、第2の距離を、第1の時間間隔からの歪みセンサの少なくとも2つの基準点の第1と歪みセンサの少なくとも2つの基準点の第2との間の第1の距離と比較するステップを含む。

【0009】

20

さらに別の実施形態では、タービン部品が開示されている。本タービン部品は、外面と、該外面の部分上に堆積されている歪みセンサとを含み、該歪みセンサは、少なくとも2つの基準点を含む部分的に除去されたセラミック材料を含む。

【0010】

本明細書において検討されている実施形態により提供されているこれらのかつさらなる特徴は、図面と併せて以下の詳細な説明を考慮して、より完全に理解されるであろう。

【0011】

図面に示されている実施形態は、本質的に実例的かつ例示的であり、特許請求の範囲により定められる本発明を限定することを目的としていない。実例的实施形態の以下の詳細な説明は、以下の図面と併せて読むと理解することができ、該図面では、同様の構造は同様の参照番号で示されている。

30

## 【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本明細書に示されているかまたは記載されている1つまたは複数の実施形態による歪みセンサを含む例示的タービン部品の図である。

【図2】本明細書に示されているかまたは記載されている1つまたは複数の実施形態による例示的歪みセンサの図である。

【図3】本明細書に示されているかまたは記載されている1つまたは複数の実施形態によるタービン部品上に堆積されているセラミック材料の横断面図である。

【図4】本明細書に示されているかまたは記載されている1つまたは複数の実施形態によるタービン部品上の別の例示的歪みセンサの横断面図である。

40

【図5】本明細書に示されているかまたは記載されている1つまたは複数の実施形態によるタービン部品上のさらに別の歪みセンサの横断面図である。

【図6】本明細書に示されているかまたは記載されている1つまたは複数の実施形態によるタービン部品上のさらに別の歪みセンサの横断面図である。

【図7】本明細書に示されているかまたは記載されている1つまたは複数の実施形態によるタービン部品上に歪みセンサを製造する例示的方法の図である。

【図8】本明細書に示されているかまたは記載されている1つまたは複数の実施形態によるタービン部品を監視する例示的方法の図である。

【発明を実施するための形態】

50

## 【0013】

本発明の1つまたは複数の特定の実施形態が以下に記載される。これらの実施形態を簡潔に説明するように努めた結果、実施の全ての特徴が本明細書に記載されていない可能性がある。当然のことながら、いかなるそのような実施の開発においても、あらゆる工学または設計プロジェクトの場合と同様に、1つ1つの実施で変化する可能性がある、システム関連の制約およびビジネス関連の制約の順守などの、開発者の特定の目的を達成するために非常に多くの実施時固有の決定が下されなければならない。さらに、当然のことながら、そのような開発努力は複雑で時間がかかる可能性があると考えられるが、言うまでもなく、本開示の利益を得る当業者にとって、設計、製作および製造の所定の仕事であると

10

## 【0014】

本発明の種々の実施形態の要素を紹介する場合、冠詞「a」、「an」、「the」および「said（前記）」は、要素の1つまたは複数が存在することを意味するものとする。用語「comprising（含む）」、「including（含む）」および「having（有する）」は包括的であり、列挙されている要素以外に付加的要素が存在する可能性があることを意味するものとする。

## 【0015】

ここで図1を参照すると、タービン部品10が、タービン部品の外面11の部分上に堆積されているセラミック材料30を含む歪みセンサ40を備えて示されており、セラミック材料の少なくとも一部分がレーザにより除去されている。

20

## 【0016】

タービン部品10は、高温用途において利用されるもの（例えば、ニッケルまたはコバルトベースの超合金を含む部品）などの、様々な特定の部品を含み得る。例えば、いくつかの実施形態では、タービン部品10は燃焼部品または高温ガス経路部品を含み得る。いくつかの特定の実施形態では、タービン部品10は、動翼、ブレード、翼、ノズル、シュラウド、ロータ、トランジションピース、またはケーシングを含み得る。他の実施形態では、タービン部品10は、ガスタービン、産業用ガスタービン、蒸気タービン等のための部品などの、タービンの任意の他の部品を含み得る。

## 【0017】

タービン部品10は外面11を有する。本明細書では当然のことながら、外面11は1つまたは複数の露出部分12を有していてもよく、後に歪み測定値をキャプチャするための歪みセンサ40の位置に適した任意の領域を含み得る。本明細書において用いられている「露出部分」は、少なくとも第1に、セラミックコーティング（例えば、遮熱コーティング等）のない外面11の領域を指す。本明細書では当然のことながら、そのような実施形態では、セラミックコーティングの欠如は、歪みセンサ40の少なくとも2つの基準点41および42を分析する場合、ベース金属/合金がより視覚的に識別可能であることを可能にし得る。本明細書では当然のことながら、いくつかの実施形態では、露出部分12は、後に、歪みセンサ40から視覚的に区別できる、視覚的に対照的な材料35（図4および図5に示されている）などの追加材料でコーティングされる。

30

## 【0018】

ここで図1～図6を参照すると、セラミック材料30は、タービン部品10の外面11の部分上に堆積されている（図3）。セラミック材料30の部分が、後に、歪みセンサ40を形成するためにレーザ25（図4）により除去される。歪みセンサ40は、一般に、複数の時間間隔で前記少なくとも2つの基準点41と42との間の距離Dを測定するのに使用され得る少なくとも2つの基準点41および42を含む。当業者には当然のことながら、これらの測定値は、タービン部品10のその領域における、歪み量、歪み速度、クリープ、疲労、応力等の判定を助けることができる。少なくとも2つの基準点41および42は、それらの間で距離Dを測定することができる限り、特定のタービン部品10に応じて様々な距離にかつ様々な位置に配設され得る。さらに、少なくとも2つの基準点41および42は、それらが一貫して識別可能でありかつそれらの間で距離Dを測定するのに使

40

50

用され得る限り、点、線、円、四角形、または任意の他の幾何学的もしくは非幾何学的形状を含み得る。

【0019】

歪みセンサ40は、堆積装置20により堆積され、次いでレーザ25により部分的に除去されるセラミック材料を含む。より具体的には、歪みセンサ40自体は、任意のセラミック材料、または（例えば、自動化された付加的製造工程によりセラミック粉末を利用する）堆積、（例えば、レーザ25による）除去、および（例えば、前段で検討されているように、少なくとも2つの基準点41と42との間の距離Dを測定する）光学的認識に適した材料を含む。セラミック歪みセンサ40は、他の歪みセンサ材料と比較して、温度生存性の向上を実現する可能性がある。例えば、いくつかの実施形態では、セラミック材料30は、イットリア安定化ジルコニア（YSZとも呼ばれる）などの遮熱コーティングを含み得る。そのような実施形態では、YSZは、例えばYSZ-D111を含み得る。さらにいくつかの実施形態では、歪みセンサ40は、セラミックトップコート（例えば、YSZ）の堆積を補助する金属ボンドコートおよび/または熱成長酸化物を含み得る。いくつかの特定のタービン部品10（またはその上の少なくとも特定の位置）は、遮熱コーティングを必要とするような高温を受けない可能性があるが、歪みセンサ40のためのそのような利用は、他の歪みセンサ材料（例えば、高分子材料、化学染料等）が壊れ、比較的過酷な環境から消失する可能性があると考えられる場合、その長寿を確実にする可能性がある。

10

【0020】

さらにいくつかの実施形態では、歪みセンサ40は、セラミック材料30に加えて、視覚的に対照的な材料35を含み得る。本明細書において用いられている「視覚的に対照的な材料」35は、例えば異なる色または模様によるなど、セラミック材料と視覚的に対照をなす任意の材料を指す。視覚的に対照的な材料35は、操作者および/または機械に対してそれらの位置を視覚的に強調することにより、歪みセンサ40の第1の基準点41および第2の基準点42の認識を容易にするのを助ける可能性がある。視覚的に対照的な材料35は、動作中にタービン部品10上で同様に存続することができる付加的な金属、合金、セラミック等を含み得る。例えば、いくつかの実施形態では、視覚的に対照的な材料35は、その色を変える、セラミック材料30のドーパージョンを含み得る。

20

【0021】

図5に示されているものなどのいくつかの実施形態では、セラミック材料30と視覚的に対照的な材料35とが1つの実質的な層を形成するように、視覚的に対照的な材料35は歪みセンサの凹空間45（すなわちセラミック材料30がレーザ25により除去された所）の内部に直接堆積されてもよい。図6に示されているものなどのさらにいくつかの実施形態では、視覚的に対照的な材料35はタービン部品10上に直接堆積されてもよく、次いで、セラミック材料30は視覚的に対照的な材料35の上に堆積されてもよい。

30

【0022】

いくつかの実施形態では、歪みセンサ40自体は、下にあるタービン部品10とそれを区別する任意の他の検出可能なタイプの対照的な特性を含み得る。例えば、歪みセンサ40は、タービン部品10と比較して、異なる高さ、粗さ、模様等を含んでいてもよく、異なるエネルギー（例えば、フォトルミネセンス、放熱等）を発してもよく、または任意の他の識別特性を含んでいてもよい。これらのかつ同様の実施形態は、例えば表面計測学、エネルギー放出分析等により、第1の基準点41および第2の基準点42の認識、ならびに第1の基準点41と第2の基準点42との間での測定を容易にする可能性がある。

40

【0023】

本明細書では当然のことながら、セラミック材料30は、十分に高い精密さで堆積して歪みセンサ40を形成するのに適した任意の堆積装置20を使用して堆積されてもよい。例えば、いくつかの実施形態では、堆積装置20は、エアロゾルジェットコータ（例えば、OptomecからのAerosol Jet and LENSシステム）、Micro Dispensing Machine（例えば、Ohrkraft, Inc.も

50

しくはnScrypt, IncからのMicropenもしくは3Dn)、Mesoscribe Technologies, Inc.からのMesoplasma、プラズマスプレー、または任意の他の適切な装置、あるいはそれらの組合せを含み得る。さらにいくつかの実施形態では、セラミック材料30は、適切な厚さ水準を得ることができる限り、エアブラシで吹き付けられてもよい。

#### 【0024】

セラミック材料は、次いで、任意の適切なレーザにより除去される。本明細書において用いられている「ablate（除去する）」（およびその変化形）は、レーザ25による任意の材料除去を指す。レーザは、少なくとも2つの基準点41および42を形成するのに十分なセラミック材料を除去するのに適切な電力および形態を含み得る。例えば、いくつかの実施形態では、レーザ25は、約40ワットから約80ワットまでの電力を含み得る。さらにいくつかの実施形態では、レーザ25は、例えば8ワットYVO4クリスタルYAGレーザなどの、40ワット未満の電力を含み得る。いくつかの実施形態では、レーザ25はパルスレーザを含み得る。さらにいくつかの実施形態では、レーザ25は、複数の経路によりセラミック材料30を除去してもよい。そのような要因は、下にあるタービン部品10を実質的に燃焼させることなく、セラミック材料30の除去を容易にする可能性がある。

#### 【0025】

いくつかの実施形態では、セラミック材料30は、除去の前に、少なくとも部分的に硬化されてもよい。そのような硬化は、除去の前にセラミック材料30がタービン部品10の外面11上で安定していることを確実にすることを助ける可能性がある。硬化は、任意の適切な温度で適切な時間、例えば約50 から約100 までで少なくとも約2時間、起こる可能性がある。しかし、当然のことながら、任意の他の適切な硬化条件もまた利用され得る。

#### 【0026】

本明細書において検討されているように、歪みセンサ40は、少なくとも第1の基準点41と第2の基準点42との間での1つまたは複数の距離測定値の判定を助けるように、様々な認識技術と併せて利用されてもよい。したがって、レーザ25は、例えば機械または人により光学的になど、認識可能な少なくとも第1の基準点41と第2の基準点42とを含む歪みセンサ40を画定する適切な分解能を用いて、セラミック材料30を除去してもよい。いくつかの実施形態では、レーザ25は、少なくとも15ミクロンの分解能を用いて、セラミック材料30を除去してもよい。さらにいくつかの実施形態では、レーザ25は、サブミクロン分解能を用いて、セラミック材料30を除去してもよい。

#### 【0027】

いくつかの実施形態では、セラミック材料30（および潜在的に任意の視覚的に対照的な材料35）は、除去の前または後のどちらかに、1つまたは複数の付加的な硬化段階および/または焼結段階を経てもよい。任意の硬化および/または焼結は、特定の種類のセラミック材料30に左右される可能性があり、歪みセンサ40をタービン部品10の外面11上に実質的に凝固させる任意の適切な温度および時間を含み得る。いくつかの特定の実施形態では、セラミック材料30は、除去の前に少なくとも部分的に硬化され、次いで、除去の後に完全に焼結されてもよい。

#### 【0028】

図2～図6に最もよく示されている通り、歪みセンサ40は、例えば様々な異なる形状、大きさ、および配置の基準点41ならびに42を組み込むことにより、様々な異なる形態および横断面を含み得る。例えば、図2に示されている通り、歪みセンサ40は、様々な形状および大きさを含む様々な異なる基準点を含み得る。そのような実施形態は、（図示の）最外基準点間、2つの内側基準点間、またはそれらの間の任意の組合せなどの、より多くの種類の距離測定値Dをもたらす可能性がある。より多くの種類は、より多くの種類の位置に亘る歪み測定を実現することにより、タービン部品10の特定の部分上でのより安定した歪み分析をさらにもたらす可能性がある。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 9 】

さらに、歪みセンサ 4 0 の寸法は、例えばタービン部品 1 0、歪みセンサ 4 0 の位置、測定目標精度、堆積技術、除去技術、および光学的測定技術によって決まる可能性がある。例えば、いくつかの実施形態では、歪みセンサ 4 0 は、1 ミリメートル未満から 3 0 0 ミリメートル超までの長さおよび幅を含み得る。さらに、歪みセンサ 4 0 は、下にあるタービン部品 1 0 の性能に著しく影響を及ぼすことなく、堆積、除去、およびその後の光学的認識に適した任意の厚さを含み得る。例えば、いくつかの実施形態では、歪みセンサ 4 0 は、約 0 . 1 ミリメートル未満から 1 ミリメートル超までの厚さを含み得る。いくつかの実施形態では、歪みセンサ 4 0 は実質的に均一の厚さを有し得る。そのような実施形態は、上首尾の除去、および第 1 の基準点 4 1 と第 2 の基準点 4 2 との間での、その後の歪み計算のためのより正確な測定を、促進するのを助ける可能性がある。

10

## 【 0 0 3 0 】

いくつかの実施形態では、歪みセンサ 4 0 は、( 周囲の材料が除去されたように ) 凸状に堆積された四角形または矩形を含む可能性があり、第 1 の基準点 4 1 および第 2 の基準点 4 2 は、前記四角形または矩形の 2 つの対向面を含む。他の実施形態では、歪みセンサ 4 0 は、凹空間 4 5 ( すなわちセラミック材料 3 0 が除去された領域 ) により分離されている少なくとも 2 つの堆積された基準点 4 1 および 4 2 を含み得る。凹空間 4 5 は、例えば、タービン部品 1 0 の外面 1 1 の露出部分 1 2 を含み得る。あるいはまたはさらに、凹空間 4 5 は、少なくとも 2 つの基準点 4 1 および 4 2 の材料と区別される、後に堆積された視覚的に対照的な材料 3 5 を含み得る。

20

## 【 0 0 3 1 】

図 2 に示されている通り、さらにいくつかの実施形態では、歪みセンサ 4 0 のセラミック材料 3 0 は、一意識別子 4 7 ( 以下、「UID」) を形成するために除去されてもよい。UID 4 7 は、その特定の歪みセンサ 4 0 の認識を容易にする任意のタイプのバーコード、ラベル、タグ、シリアルナンバー、模様、または他の識別システムを含み得る。いくつかの実施形態では、さらにまたはあるいは、UID 4 7 は、歪みセンサ 4 0 が上に堆積されているタービン部品 1 0 またはタービン全体に関する情報を含み得る。それにより、UID 4 7 は、特定の歪みセンサ 4 0、タービン部品 1 0、またはさらにタービン全体の認識および追跡を補助して、過去、現在および未来の動作追跡のための相互に関連がある測定を助けてもよい。

30

## 【 0 0 3 2 】

それにより、歪みセンサ 4 0 は、様々なタービン部品 1 0 の 1 つまたは複数の様々な位置に堆積され得る。例えば、前段で検討されているように、歪みセンサ 4 0 は、動翼、ブレード、翼、ノズル、シュラウド、ロータ、トランジションピース、またはケーシング上に堆積され得る。そのような実施形態では、歪みセンサ 4 0 は、例えばエロフォイル、プラットホーム、先端部、もしくは任意の他の適切な位置にまたはそこに近接してなど、ユニット動作中に様々な力に見舞われることで知られている 1 つまたは複数の位置に堆積され得る。さらに、歪みセンサ 4 0 はセラミック材料を含むので、歪みセンサ 4 0 は、( 他の材料を含む歪みセンサは腐食するかつ / または磨滅する可能性がある ) 高温に見舞われることで知られている 1 つまたは複数の位置に堆積され得る。例えば、セラミック材料を含む歪みセンサ 4 0 は、高温ガス経路または燃焼タービン部品 1 0 上に堆積され得る。

40

## 【 0 0 3 3 】

さらにいくつかの実施形態では、複数の歪みセンサ 4 0 が、単一のタービン部品 1 0 または複数のタービン部品 1 0 上に堆積され得る。例えば、複数の歪みセンサ 4 0 が、個々のタービン部品 1 0 の周囲のより多くの位置で歪みが判定され得るように、単一のタービン部品 1 0 ( 例えば、動翼 ) 上の様々な位置に堆積され得る。あるいはまたはさらに、各特定のタービン部品 1 0 が見舞われた歪み量が他の同様のタービン部品 1 0 と比較され得るように、複数の同様のタービン部品 1 0 ( 例えば、複数の動翼 ) が各々、標準的な位置に堆積されている歪みセンサ 4 0 を有し得る。さらにいくつかの実施形態では、タービン全体の内部の異なる位置で見舞われた歪み量が判定され得るように、同じタービンユニッ

50

トの複数の異なるタービン部品 10 (例えば、同じタービンの動翼および翼) が各々、上に堆積されている歪みセンサ 40 を有し得る。

【0034】

さらに図 7 を参照すると、タービン部品 10 上に歪みセンサ 40 を製造する方法 100 が示されている。本方法 100 は、最初に、ステップ 110 において、タービン部品 10 を設けるステップを含む。本明細書において検討されている通り、タービン部品 10 は、外面 11 を有する任意の部品を含み得る。本方法は、ステップ 120 において、外面 11 の部分上にセラミック材料 30 を堆積させるステップをさらに含む。本方法は、次いで、ステップ 130 において、セラミック材料 30 の少なくとも部分を除去して、歪みセンサ 40 を形成するステップを含む。やはり本明細書において検討されている通り、除去により形成された歪みセンサ 40 は、少なくとも 2 つの基準点 41 および 42 を含む。いくつかの特定の実施形態では、少なくとも 2 つの基準点 41 と 42 とは、外面 11 の露出部分により少なくとも部分的に分離されている可能性がある。いくつかの実施形態では、ステップ 130 における除去は、歪みセンサ 40 のセラミック材料 30 を焼結する前に起こってもよい。そのような実施形態では、歪みセンサ 40 は、歪みセンサ 40 がグリーン状態にあるように部分的に硬化され、レーザにより除去され、次いで完全に焼結されてもよい。他の実施形態では、歪みセンサ 40 は、セラミック材料 30 が完全に焼結された後に除去されてもよい。さらに、これらの実施形態のいくつかでは、本方法 100 は、ステップ 140 において、露出部分内に視覚的に対照的な材料 35 を堆積させて、少なくとも 2 つの基準点 41 および 42 の認識を補助するステップをさらに含み得る。方法 100 は、同一タービン部品 10 上の複数の歪みセンサ 40、異なるタービン部品 10 上の複数の歪みセンサ 40、またはそれらの組合せを製造するために、繰り返されてもよい。

【0035】

さらに図 8 を参照すると、タービン部品 10 を監視する別の方法 200 が示されている。方法 100 と同様に、方法 200 は、ステップ 220 において、外面 11 の部分上にセラミック材料 30 を堆積させるステップをさらに含む。本方法 200 は、次いで、ステップ 230 において、セラミック材料 30 の少なくとも部分を除去して、歪みセンサ 40 を形成するステップを含む。本方法 200 は、ステップ 240 において、歪みセンサ 40 の少なくとも 2 つの基準点の第 1 の 41 と第 2 の 42 との間の第 1 の距離  $D$  を判定するステップをさらに含む。いくつかの実施形態では、第 1 の距離  $D$  を判定するステップは測定により達成され得る。さらにいくつかの実施形態では、セラミック材料 30 の除去が高解像能で達成される場合など、ステップ 240 において、第 1 の距離  $D$  を判定するステップは、単に歪みセンサ 40 の除去仕様に基づいて距離を知ることにより達成されてもよい。方法 200 は、次いで、ステップ 250 において、タービン内のタービン部品 10 を利用するステップを含む。その後、方法 200 は、ステップ 260 において、歪みセンサ 40 の少なくとも 2 つの基準点の同じ第 1 の 41 と第 2 の 42 との間の第 2 の距離  $D$  を測定するステップを含む。最後に、方法 200 は、ステップ 270 において、第 1 の距離を第 2 の距離と比較するステップを含む。ステップ 270 において異なる時間に測定された距離を比較することにより、歪みセンサ 40 の位置でタービン部品 10 が見舞われた歪みが判定され得る。

【0036】

ここで、当然のことながら、セラミック歪みセンサはタービン部品上に堆積され得る。セラミック歪みセンサは、潜在的に過酷な動作条件に耐えながら、タービン部品性能の監視を容易にする可能性がある。

【0037】

本発明を、限られた数の実施形態のみに関連して詳細に記載したが、本発明はそのような開示されている実施形態に限定されないことが容易に分かるはずである。むしろ、本発明は、前述されていない、任意の数の変形形態、修正形態、置換形態、または同等の装置を組み込むように修正され得るが、それらは本発明の精神および範囲に見合っている。さらに、本発明の種々の実施形態を記載したが、当然のことながら、本発明の態様は、記載

10

20

30

40

50

されている実施形態のいくつかのみを含む場合がある。したがって、本発明は、前述の説明により限定されると見なされるべきではなく、添付の特許請求の範囲によってのみ限定される。

【符号の説明】

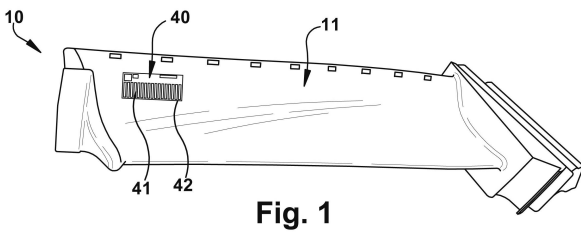
【0038】

- 10 タービン部品
- 11 外面
- 12 露出部分
- 20 堆積装置
- 25 レーザ
- 30 セラミック材料
- 35 視覚的に対照的な材料
- 40 歪みセンサ
- 41、42 基準点
- 45 凹空間
- 47 一意識別子 (UID)
- 100、200 方法
- 110、120、130、140、210、220、230、240、250、260、270 ステップ
- D 距離、距離測定値、第1の距離、第2の距離

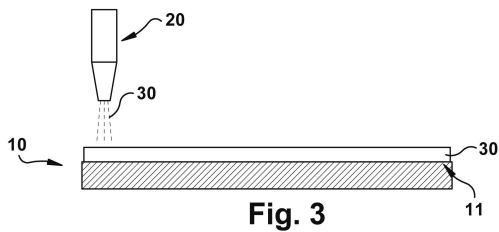
10

20

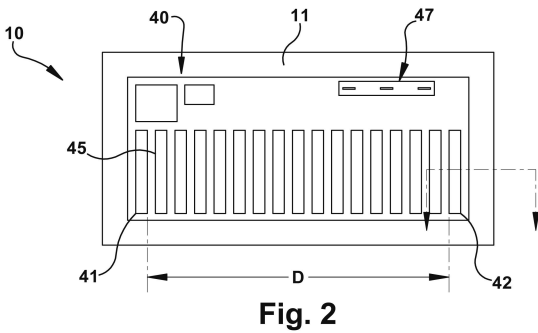
【図1】



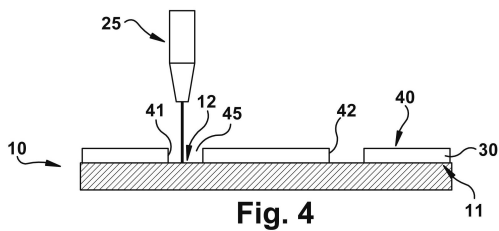
【図3】



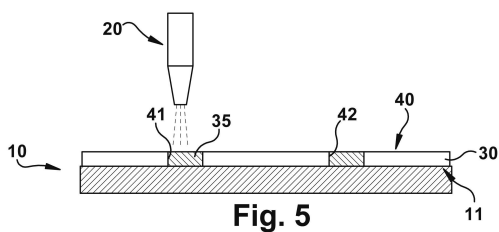
【図2】



【図4】



【図5】



【図6】

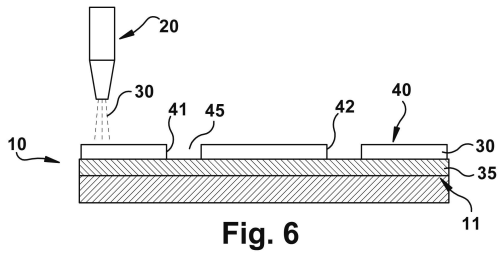


Fig. 6

【図7】

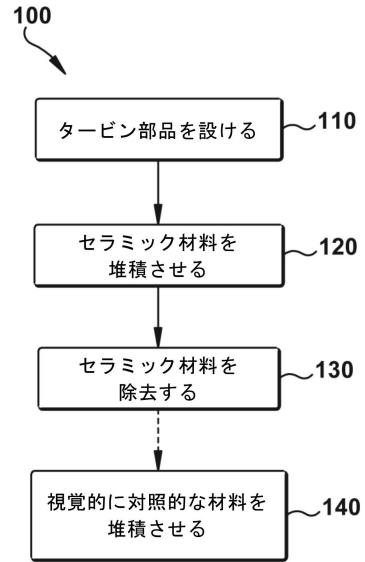


Fig. 7

【図8】

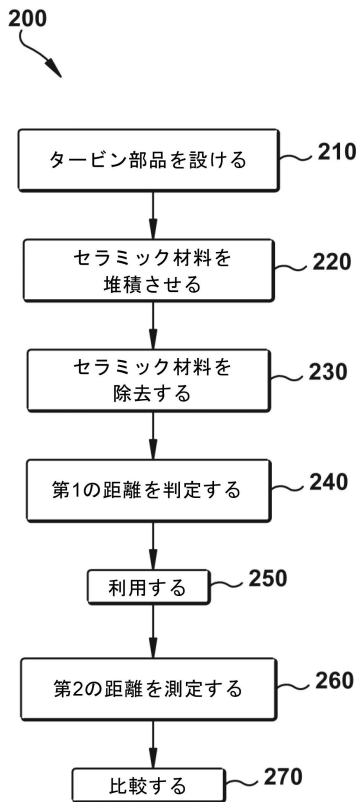


Fig. 8

## フロントページの続き

- (72)発明者 トンプソン, クリストファー・エドワード  
アメリカ合衆国、サウスカロライナ州・29615、グリーンヴィル、ガーリングトン・ロード、  
300番
- (72)発明者 ジャーマン, ブライアン・ジョセフ  
アメリカ合衆国、サウスカロライナ州・29615、グリーンヴィル、ガーリングトン・ロード、  
300番
- (72)発明者 バーンサイド, ジェイソン・リー  
アメリカ合衆国、サウスカロライナ州・29615、グリーンヴィル、ガーリングトン・ロード、  
300番
- (72)発明者 ホーヴィス, グレゴリー・リー  
アメリカ合衆国、サウスカロライナ州・29615、グリーンヴィル、ガーリングトン・ロード、  
300番

審査官 小林 勝広

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2013/0202192 (US, A1)  
米国特許出願公開第2007/0056382 (US, A1)  
米国特許第06337465 (US, B1)  
欧州特許出願公開第02481602 (EP, A1)  
米国特許出願公開第2014/0061173 (US, A1)  
特開2012-132456 (JP, A)  
実開平02-007509 (JP, U)  
米国特許出願公開第2007/0085904 (US, A1)  
米国特許出願公開第2011/0292372 (US, A1)  
米国特許出願公開第2011/0103933 (US, A1)  
米国特許出願公開第2007/0062300 (US, A1)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F01D 25/00  
F02C 7/00  
G01B 11/16  
G01M 99/00