

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

**特許第6114539号  
(P6114539)**

(45) 発行日 平成29年4月12日(2017.4.12)

(24) 登録日 平成29年3月24日(2017.3.24)

(51) Int.Cl.

**GO1N 29/06 (2006.01)**

F 1

GO1N 29/06

請求項の数 18 外国語出願 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2012-267830 (P2012-267830)  
 (22) 出願日 平成24年12月7日 (2012.12.7)  
 (65) 公開番号 特開2013-125031 (P2013-125031A)  
 (43) 公開日 平成25年6月24日 (2013.6.24)  
 審査請求日 平成27年12月1日 (2015.12.1)  
 (31) 優先権主張番号 13/323, 957  
 (32) 優先日 平成23年12月13日 (2011.12.13)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 390041542  
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニー  
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州 123  
 45、スケネクタディ、リバーロード、1  
 番  
 (74) 代理人 100137545  
 弁理士 荒川 智志  
 (74) 代理人 100105588  
 弁理士 小倉 博  
 (74) 代理人 100129779  
 弁理士 黒川 俊久  
 (74) 代理人 100113974  
 弁理士 田中 拓人

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】オブジェクトの検査のために画像を処理するための方法およびシステム

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

少なくとも 1 つのプロセッサを使用して画像化されたオブジェクトにおける異常を識別するための非一時的コンピュータ可読記憶媒体であって、前記プロセッサに、  
 オブジェクトの少なくとも 1 つのエリアに対応する複数の画像を取得することと、  
正常な変動を有する基準構造を用いて複数の画像の少なくとも一部の修正を行うことと、

前記オブジェクトの前記修正された複数の画像に勾配ベクトル場の分析を行って、前記オブジェクト内の異常領域を識別することと、  
 を行うように命じる命令を含み、

前記オブジェクトが膜を含み、前記命令が、前記プロセッサに前記膜のモデルを使用して前記膜を識別するよう命じ、

前記膜が、前記モデルの少なくとも 1 つへの適応度または画像データとの一致を評価するコスト関数を最適化することによって前記複数の画像において識別され、

前記コスト関数が、

## 【数1】

$$\mathcal{C}(S) = \mathcal{C}_{Intensity}(S) + \sum_{S_{adj}} (S - S_{adj})^2 + ((S - S_{model})P)^2$$

式1

と定義され、 $\mathcal{C}_{Intensity}(S)$ が、前記膜の定義された輝度モデルに対する識別すべき膜検出 $S$ の前記適応度の測定であり、 $S_{adj}$ が、隣接画像における膜検出であり、 $S_{model}$ が、事前形状モデルである、

非一時的コンピュータ可読記憶媒体。 10

## 【請求項2】

前記複数の画像が、前記オブジェクトのBモード走査を使用して取得される隣接超音波画像である、請求項1に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

## 【請求項3】

前記命令が、前記プロセッサに空間フィルタを使用して前記オブジェクトの全体形状を測定し、前記複数の画像の歪を取ることによって前記オブジェクトの前記全体形状を補正するように命令し、前記歪を取ることが、前記複数の画像において複数の行のピクセルをシフトすることを含む、請求項1に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

## 【請求項4】

前記モデルが、輝度モデル、平滑モデル、および形状モデルのうちの少なくとも1つを含む、請求項1に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。 20

## 【請求項5】

前記命令が、前記プロセッサに輝度勾配の大きさおよび方向を計算することによって前記勾配ベクトル場の分析を行うように命じる、請求項1に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

## 【請求項6】

輝度および方向の前記計算が、マルチスケールプロセスを用いて行われる、請求項5に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

## 【請求項7】

前記命令が、前記プロセッサに前記複数の画像にわたって勾配ベクトル場に正則化を行うように命じる、請求項1に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。 30

## 【請求項8】

前記命令が、前記プロセッサに、重み付けされた勾配方向を用いて前記正則化を行うように命じる、請求項7に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

## 【請求項9】

前記命令が、前記プロセッサに画像輝度の局所標準偏差の値を算出し、前記値を閾値処理して前記複数の画像中の対象の領域を識別するように命じる、請求項7に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

## 【請求項10】

前記命令が、前記プロセッサに回転演算子を使用して、前記正則化された勾配ベクトル場の複数の回転値を算出するように命じる、請求項7に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。 40

## 【請求項11】

前記命令が、前記プロセッサに前記回転演算子を用いて算出された複数の回転値を閾値処理して、前記異常領域を識別するように命じる、請求項10に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

## 【請求項12】

前記命令が、前記プロセッサに前記識別された異常領域に領域成長プロセスを適用するように命じる、請求項11に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

## 【請求項13】

50

前記命令が、前記プロセッサに前記複数の画像の少なくとも1つに少なくとも1つの異常領域を識別するオーバーレイを表示するように命じる、請求項1に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

**【請求項14】**

前記命令が、前記プロセッサに前記オーバーレイ内の異常の信頼レベルを示すように命じる、請求項13に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

**【請求項15】**

正常な変動を有する基準構造を用いてオブジェクトの複数の画像の少なくとも一部の修正を行うことと、前記オブジェクトの修正された画像上で勾配ベクトル場の分析を行うことにより、前記オブジェクト内の異常領域を識別するように構成されたプロセッサと、10

表示画像上に識別された異常領域を有する前記画像の少なくとも1つを表示するように構成されたディスプレイと、

を含み、

前記オブジェクトが、膜を含むプロペラ羽根であり、前記プロセッサがさらに、前記複数の画像にわたって合計されたコスト関数を用いて前記膜を識別するように構成され、前記合計されたコスト関数が、

**【数2】**

$$C(S) = C_{Intensity}(S) + \sum_{S_{adj}} (S - S_{adj})^2 + ((S - S_{model}))^2$$
20

と定義され、 $C_{Intensity}(S)$ が、前記膜の定義された輝度モデルに対する識別すべき膜検出 $S$ の適応度の測定であり、 $S_{adj}$ が、隣接画像における膜検出であり、 $S_{model}$ が、事前形状モデルである、

検査システム。

**【請求項16】**

前記プロセッサがさらに、空間フィルタを使用して前記オブジェクトの全体形状を測定し、前記複数の画像の歪を取ることによって前記オブジェクトの前記全体形状を補正するように構成され、前記歪を取ることが、前記複数の画像において複数の行のピクセルをシフトすることを含む、請求項15に記載の検査システム。30

**【請求項17】**

前記プロセッサがさらに、(i)重み付けされた勾配の方向を用いて前記複数の画像にわたって勾配ベクトル場に正則化を行い、(ii)画像輝度の局所標準偏差の値を算出し、前記値を閾値処理して、前記複数の画像における対象の領域を識別するように構成され、前記プロセッサがさらに、回転演算子を使用して、前記正則化された勾配ベクトル場の複数の回転値を算出し、前記回転演算子を使用して算出された複数の回転値を閾値処理して前記異常領域を識別するように構成された、請求項15に記載の検査システム。

**【請求項18】**

前記プロセッサがさらに、前記識別された異常領域に領域成長プロセスを適用して、前記複数の画像の少なくとも1つに前記異常領域を識別するオーバーレイを表示するように構成された、請求項15に記載の検査システム。40

**【発明の詳細な説明】**

**【技術分野】**

**【0001】**

本発明は、オブジェクトの検査のために画像を処理するための方法およびシステムに関する。

**【背景技術】**

**【0002】**

50

様々なタイプのテストシステムを使用して、例えば、構成要素または部品などのオブジェクト内の内部欠陥（例えば、ひび、またはしわ）を見つけるために、オブジェクトを検査することができる。テストシステムは、超音波画像技術を使用するなど、構成要素を調べるための非破壊的方法を含むことができる。一例として、こうしたテストシステムは、工業用デバイスおよびシステムの構成要素部分に欠陥または傷があるかどうかを判断するために使用することができる。こうした欠陥または傷は、構成要素の最初の製造の間に導入される恐れがあり、構成要素の耐用年数を減少させる、および／または結果としてその故障をもたらす可能性がある。したがって、一般的にこうした構成要素は、欠陥があるかどうか、または欠陥を示す異常が存在するかどうかを判断するために、製造工程中および／または保守管理中に検査される。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】米国特許出願公開第2009/0240150号明細書

【発明の概要】

【0004】

一般的な超音波検査システムでは、構成要素の内部構造の画像が取得されて、ユーザに表示される。次いでユーザは、異常を検出するために画像を視覚的に検査する。例えば、複合構造が構成要素を形成するとき、ユーザは、複合材料の中のしわまたは他の欠陥を識別するために、多層構造を示す画像を検査することができる。この視覚的検査プロセスは退屈で時間がかかるだけでなく、特に、異常が存在するかどうかの判断を行わなければならないユーザにより誤りの可能性が生じる。

20

【0005】

1つの実施形態では、少なくとも1つのプロセッサを使用して撮像されたオブジェクト中の異常を識別するための非一時的コンピュータ可読記憶媒体が提供される。非一時的コンピュータ可読記憶媒体は、オブジェクトの少なくとも1つの領域に対応する複数の画像を取得して、基準構造を用いて複数の画像の少なくとも1つの修正を行うようにプロセッサに命じるための命令を含む。非一時的コンピュータ可読記憶媒体はさらに、オブジェクト内の異常領域を識別するために、オブジェクトの修正した複数の画像に勾配ベクトル場の分析を行うようにプロセッサに命じるための命令を含む。

30

【0006】

別の実施形態では、オブジェクト内の異常領域を識別するためにオブジェクトの複数の画像で勾配ベクトル場の分析を行うように構成されたプロセッサを含む検査システムが提供される。検査システムはまた、表示画像上に識別された異常領域を有する画像の少なくとも1つを表示するように構成されたディスプレイを含む。

【0007】

さらなる実施形態では、撮像された、内膜を有するオブジェクトの中の異常を自動的に識別するための方法が提供される。この方法は、複数の画像中の膜を識別することと、オブジェクトの全体的な形状を判断することと、画像中の全体的な形状をワーピング(warping)してオブジェクトの歪を取る(straighten)ことと、複数の画像の輝度勾配を計算することとを含む。またこの方法は、オブジェクト内の材質タイプを識別するために、画像の輝度の局所標準偏差を算出することを含む。さらにこの方法は、複数の画像内の対象の領域にわたって輝度勾配を計算および正則化して、勾配ベクトル場を算出すること、勾配ベクトル場に回転(curl)演算子を適用すること、および回転演算子の結果を閾値処理して異常領域を判断することを含む。この方法はさらに、異常領域に領域成長プロセスを適用すること、および異常領域を識別する複数の画像の少なくとも1つにオーバーレイを生成して表示することを含む。

40

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】一実施形態に従って形成された検査システムのブロック図である。

50

【図2】様々な実施形態に従って検査することができる羽根を有する航空機構造のプロペラ羽根の図である。

【図3】様々な実施形態に従って画像の異常を判断する方法のフローチャートである。

【図4】異常を識別するために様々な実施形態に従って処理することができる超音波画像である。

【図5】様々な実施形態に従って計算される勾配ベクトル場を示すグラフである。

【図6】様々な実施形態に従った正則化後の図5の勾配ベクトル場を示すグラフである。

【図7】様々な実施形態に従った局所標準偏差の閾値処理プロセスの結果を示す図である。

【図8】様々な実施形態に従った勾配ベクトル場の局所回転値 (local cur 10 values) を示すグラフである。

【図9】様々な実施形態に従った閾値および成長プロセスの結果を示すグラフである。

【図10】様々な実施形態に従って識別された異常領域を示す図4の超音波画像である。

【発明を実施するための形態】

#### 【0009】

様々な実施形態の次の詳細な説明は、添付の図面と併せて読まれると、よりよく理解されるであろう。図が様々な実施形態の機能ブロックの図を示す限りでは、機能ブロックは必ずしもハードウェア回路間の区分を示さない。したがって、例えば機能ブロック（例えば、プロセッサまたはメモリ）の1つまたは複数は単一のハードウェア（例えば、汎用信号プロセッサまたは1ブロックのランダムアクセスメモリ、ハードディスクなど）、または複数のハードウェアに実装することができる。同様に、プログラムは、スタンドアロンプログラムであること、サブルーチンとしてオペレーティングシステムに組み込まれること、インストールされたソフトウェアパッケージの中の機能であることなどが可能である。様々な実施形態は図面に示す配置および手段に限定されないことを理解されたい。

10

#### 【0010】

本明細書では、検査中のオブジェクトの画像中の異常を識別するための様々な実施形態について説明している。詳細には、様々な実施形態は、超音波画像を使用した構造または構成要素における異常の自動検出および識別を提供する。例えば、複合構造（例えば、カーボン複合構造）における異常の自動検出および識別は、複合構造を検査するための超音波画像を使用して提供することができる。ある異常に対して特定の構成要素を検査するための特定の画像を使用することと関連して様々な実施形態を説明しているが、異なる画像（非超音波画像など）および／または部分を用いて、ならびに異なる異常を検出するために、様々な実施形態を使用することに注意されたい。

20

#### 【0011】

様々な実施形態の少なくとも1つの技術的効果は、画像（例えば超音波画像）を使用した異常の自動検出および識別である。様々な実施形態を実行することによって、構成要素中の欠陥または傷の検出における速度および繰り返し精度を上げることができる。

30

#### 【0012】

図1は、例えば、航空機構造などの工業用複合部品または構造物であることが可能であるオブジェクト22を検査するために使用することができる1つの実施形態に従って形成された検査システム20を示している。航空機構造は、エンジン40の部分（図2に示す）とすることができます。したがって、1つの実施形態では、検査システム20は、カーボン複合材料から形成される1つまたは複数の航空機のプロペラ羽根42を検査するために使用することができる。1つの実施形態の検査システム20は、例えばプロペラ羽根の製造工程中に、エンジン40への組み立て前に、（1つまたは複数の）羽根42を検査する。例えばタービンエンジンの羽根など、他の羽根を検査することができることに注意されたい。

40

#### 【0013】

検査システム20を含む様々な実施形態について、航空機のエンジン部品を検査することに関して説明しているが、様々な実施形態を使用していかなるタイプの構成要素を検査

50

することもでき、構成要素は一部の実施形態では一般的に工業用部品または構成要素である。このようにオブジェクト22は、いかなる動作可能形状、サイズ、および構成であることも可能である。構成要素は、カーボン複合材および/または金属合金などの、ただしこれらに限定されない、いかなる動作可能基材で製造されることも可能である。より詳細には、本明細書では航空機のエンジン構成要素に関して様々な実施形態について記載するが、様々な実施形態は、蒸気タービン、原子力発電所、自動車エンジン内で使用される多種多様な構成要素に適用することができる、または任意の機械構成要素を検査するために適用することができることを理解されたい。

#### 【0014】

様々な実施形態では、検査システム20は、画像取得部を含み、例示の実施形態では画像取得部は、プローブアセンブリ22と、データ取得/制御システム24とを含む。プローブアセンブリ22は、例示の実施形態では超音波プローブであるプローブ26と、プローブ26に結合されたプローブマニピュレータ28とを含む。プローブ26およびプローブマニピュレータ28は、データ取得/制御システム24に電気的に結合されて（合わせて結合または別個に結合されることが可能である）、プローブ26およびマニピュレータ28およびデータ取得/制御システム24に制御/データ情報を送信する、およびこれから制御/データ情報を送信することができるようになる。別の実施形態では、検査システム20はまた、検査手順の間にオブジェクト22を回転させるように構成することができる固定具またはホルダ（図示せず）を含む。いかなる好適な画像取得装置を使用することもできることに注意されたい。

10

#### 【0015】

データ取得/制御システム24は、インターフェース30と、メモリ34を備えた計算機（例えばパーソナルコンピュータ）などのプロセッサ32と、ディスプレイ36（例えばモニタ）とを含む。プロセッサ32は、ファームウェア（図示せず）に格納された命令を実行することができ、本明細書に記載する動作および機能を行うようにプログラムされる。プロセッサ32は、単に当技術分野でコンピュータと呼ばれる集積回路に限定されず、広くコンピュータ、プロセッサ、マイクロコントローラ、マイクロコンピュータ、プログラマブルロジックコントローラ、特定用途向け集積回路、およびその他のプログラマブル回路を指し、こうした用語は本明細書では交換可能に使用される。

20

#### 【0016】

30

さらにメモリ34は、1つまたは複数の揮発性および/または不揮発性記憶装置、例えばソリッドステートメモリ（例えば、ランダムアクセスメモリ（RAM）、リードオンリーメモリ（ROM）、およびフラッシュメモリ）、磁気記憶デバイス（例えば、フロッピー（登録商標）ディスク、およびハードディスク）、および/または光記憶デバイス（例えば、CD-ROM、CD-RW、およびDVD）を表すよう意図されている。メモリ34は、プロセッサ32の内部に、またはプロセッサ32の外部にあることが可能である。

#### 【0017】

使用において、オブジェクト22は、固定具またはホルダ（図示せず）に取り付けられて検査中にオブジェクト22を定位置に固定し、プローブ26が任意の好適な技術を使用してオブジェクト22の超音波走査を行うようになる。例えば、1つの実施形態ではプローブ26は、単素子トランスデューサを含み、B走査画像を取得するために特定の領域またはエリアにわたってオブジェクト22の30～40のBモード走査（B-走査とも呼ばれる）を行う。次いでプローブ26は、オブジェクト22の他の領域またはエリアで1つまたは複数のさらなるセットのB走査を行って1つまたは複数のセットのB走査の画像を取得するように制御することができる。複数のセットの走査は、決定/定義された場所で行うことができる、またはランダムに選択することができる。例示の実施形態では、マニピュレータ28は、異なる軸に沿って、異なる視野角でオブジェクト22を走査することができる6軸マニピュレータである。

40

#### 【0018】

プローブ26によって生成される電気信号（例えば、パルスエコー）が、データ通信リ

50

ンク 3 8 を通じてインタフェース 3 0 を介してデータ取得 / 制御システム 2 4 によって受信され、メモリ 3 4 に格納される。プロセッサ 3 2 はまた、オブジェクト 2 2 の走査の制御を容易にするために、通信リンク 3 8 によってマニピュレータ 2 8 に結合される。一部の実施形態ではプロセッサ 3 2 は、異なる通信リンク（図示せず）を使用してマニピュレータ 2 8 に結合することができることに注意されたい。オブジェクト 2 2 の検査のオペレータ制御を提供するために、ユーザ入力 3 9（例えばキーボード）をプロセッサ 3 2 に結合する。1つの実施形態では、例えばプリンタ（図示せず）など、1つまたは複数の周辺デバイスを提供して、画像のハードコピーまたはプロセッサ 3 2 によって生成されるレポートを生成することができる。

## 【0019】

10

様々な実施形態では、検査システム 2 0 は、異常を検出および識別するために、超音波画像を使用して例えば複合部品の自動検査を提供する。1つの実施形態では画像は、プローブ 2 6 によって取得される超音波 B 走査であり、プローブ 2 6 は、マニピュレータ 2 8（例えばロボットマニピュレータ）で制御することができ、検査されているオブジェクト 2 2 の表面にわたってラスターパターンで走査する。様々な実施形態はまた、画像を分析して、内部部品構造を示す特徴ならびに製造欠陥などの欠陥を識別するために、プロセッサ 3 2 が実行することができる画像処理アルゴリズムを提供する。画像は、いかなる好適な画像取得プロセスを使用して取得することもできることに注意されたい。

## 【0020】

20

様々な実施形態に従って、超音波画像を自動的に分析して、例えば図 3 に示す方法 5 0 を使用して、オブジェクト 2 2 における異常を判断する。方法 5 0 は、特に複合プロペラにおいて複合構造の異常を識別することに関連して説明しているが、方法 5 0 は、他のオブジェクト 2 2 または部品の検査と関連して使用することができることに注意されたい。

## 【0021】

方法 5 0 は、1つまたは複数のセットの超音波 B 走査画像上で行って、例えば重要な内部構造および異常（例えば潜在的な製造欠陥）を識別する。例えば図 4 は、例示的超音波画像 8 0 を示しており、超音波画像 8 0 の表面部分 8 1 は左側にある。超音波画像 8 0 は、複合プロペラ羽根の一部である。

## 【0022】

30

方法 8 0 は、5 2 においてオブジェクトの膜を識別することを含む。例えば、図 3 に示すように、膜 8 2 は、膜層によって定義され、複合構造の膜層は、カーボン複合層 8 4 によって定義される複合材料を内部材料 8 6 から切り離す。様々な実施形態は、欠陥を含む可能性がある、またその特性が以下にさらに詳細に説明されるようなしわなど他の内部欠陥を示す可能性がある膜 8 2 を識別する。通常の状態では膜 8 2 は、全体的な予想される形状、したがって、超音波画像 8 0 の勾配流を示すことに注意されたい。

## 【0023】

超音波画像 8 0 は、プロペラ羽根の上面にグラスファイバーブレーディング（fiber glass braiding）8 8 を含むプロペラ羽根用などのカーボン複合構造を表すことにも注意されたい。さらに上面の水 9 0 もまた、撮像することができる。さらにグラスファイバーブレーディング 8 8 を形成する構造は、オブジェクト、すなわちプロペラ羽根の内部構造とは異なり、異常を識別するための本明細書に記載する画像分析中には無視されることに注意されたい。

40

## 【0024】

様々な実施形態では、膜 8 2 を識別するために、3 次元（3D）手法をとる。詳細には、1つの実施形態では、形状の従来の情報、表面距離ペナルティ、および膜 8 2 の存在を示す検出信号情報とともに、グラフに基づく最短経路（shortest-path）方法を膜のセグメンテーション（segmentation）に使用する。

## 【0025】

50

例えば、1つの実施形態では、事前の形状および膜 8 2 があることを示す検出信号からの寄与を含むコスト関数を使用することができる。膜 8 2 を見つけるためのコスト関数は

、次のように定義することができる：

【0026】

【数1】

$$C(S) = C_{Intensity}(S) + \sum_{S_{adj}} (S - S_{adj})^2 + ((S - S_{model})\bar{I})^2 \quad \text{式1}$$

式1では、第1の項 $C_{Intensity}(S)$ は、現在の検出 $S$ が膜82の所与の輝度モデルにいかに適合するかを測定する。例えばこの項は、膜82の現在の周期および基準周期について正弦波周期（最高点から最高点まで）の値の差を定義する。基準周期は、例えば経験的に算出することができる。第2の項は、現在の検出 $S$ と隣接走査の膜 $S_{adj}$ との間の距離にペナルティを課す（penalize）。したがってこの項は、偏差を算出するための隣接画像間の形状拘束である。したがって、コスト関数は、画像および近接画像（例えば、30～40画像のセット中）にわたって合計され、合計が3次元エリアで行われるようにする。隣接画像は、本明細書に記載する走査技術により、すなわち実施形態ではラスタ走査パターンにより粗く整列されること、膜82は、一部の画像では他の画像よりも容易に検出される場合があることに注意されたい。様々な実施形態では、膜82は、モデル（例えば特に、輝度モデル、平滑度モデル、または形状モデル）への適応度および/または画像データとの一致を評価するコスト関数を最適化することによって識別される。したがって、様々な実施形態における $C_{Intensity}(S)$ は、膜の定義された輝度モデルに対する第1の、すなわち現在の膜の検出 $S$ の適応度の測定である。

【0027】

第3の項は、オプションで含まれるが、現在の検出 $S$ と事前形状モデル $S_{model}$ との間の形状変化にペナルティを課す。この項は、非検出膜を表すモデル項からの偏差、すなわち膜82が画像の中でどのように見えるかを表す。コスト関数は、膜82の特徴を用いて、様々な実施形態におけるエネルギー関数を定義し、周期が関数を定義する。このようにコスト関数は、一般的に各画像の輝度および形状拘束を定義する。

【0028】

様々な実施形態では、 $C(S)$ は、 $C(S)$ が定義された限界内であらゆる画像における総コストを最小化するまたは削減するように計算される。したがって、膜層、詳細には例えば膜82など膜層の位置および形状は、画像のセットに適用されるグローバルコスト関数を使用して様々な実施形態で求められる。

【0029】

その後、検出された膜層を用いて、画像にワーピングを適用して、走査ジオメトリに起因する画像中の大規模な変動の影響を取り除くことができる。詳細には、54において画像の上部および下部がトレースされて、56においてこれらのトレースの輪郭によってオブジェクトの全体形状が判断される。1つの実施形態では、膜82を表す曲線が滑らかに変化するように、膜82にローパスフィルタを適用することができることに注意されたい。フィルタリングは、平滑化の必要量または所望量に基づいて調整することができる。

【0030】

その後、1つの実施形態では、58において膜82の歪を効果的に取る歪み取り操作（straightening operation）を行うことによってワーピングが適用される。例えば、膜82の非線形性は、トレースされた膜の歪みを取るために、画像80の上部から下部まで画像80のすべての列をシフトすること（例えば、各列のピクセルをシフトすること）によって取り除く。例えば、画像80の上部および下部でその間のピクセルを揃えてノードを選択することができる。このように、修正プロセスが行われて、基準構造を用いて画像80中の大規模な変動が取り除かれ、一例としては、（例えば、正常なものとしてのベースラインである）正常な構造の画像と比較して画像中の異常なうねりが識別される。基準構造は、例えば（膜82ではなく）オブジェクトの前面またはグラスファイバ層の境界のような、オブジェクトのいかなる部分であることも可能であること

10

20

30

40

50

に注意されたい。

#### 【0031】

その後、画像80がワーピングされると、60において輝度勾配が計算され、これは輝度勾配の大きさおよび方向を測定することを含む。様々な実施形態では、マルチスケールプロセスが行われ、その結果、対象のいかなる異常または欠陥よりも小さい規模のノイズを含む画像の勾配の方向となる。様々な実施形態では、以下により詳細に説明するように、画像全体にわたって勾配ベクトル場に正則化操作が適用される。

#### 【0032】

詳細には、画像80がワーピングされると、例えば1/2および1/4スケールの画像で輝度勾配および輝度勾配の方向が計算される。しかしながら、これらの値は、用途に応じて変更される場合がある。計算は、いかなる好適な勾配計算プロセスを用いて行うこともできる。正則化操作を適用して、勾配に順序を与え、いかなる異常も取り除いていない間の勾配を整列させる。1つの実施形態では、正則化パラメータまたは制約は、経験的に算出される。

10

#### 【0033】

様々な実施形態では、勾配の方向の正則化は、勾配の向きの信頼度(`confidence`)と勾配の大きさとの間の強力な相関関係を説明するために、勾配の大きさによって重み付けされる。画像80のサンプリングは、非等方性であって、垂直および水平ピクセルの寸法は等しくない可能性があることに注意されたい。したがって、正則化は、画像サンプリングにおける不均一性を説明するために行うことができる。したがって、経験的に算出された拘束を含むことができる、好適な正則化技術を使用して、不均一性を説明するために画像80の勾配を再編成(`realigned`)することができる。例えば、図5は、正則化前の画像の一部の(勾配ベクトル場を示している)勾配102のグラフ100を示し、図6は、正則化後の画像の一部の(勾配ベクトル場を示している)勾配112のグラフ110を示す。図に示すように、勾配は、図5よりも図6においてより整列された順序であり、画像の不均一性により、ランダムな勾配の方向となる。理想的には、すなわち、異常のない画像では、勾配112は、グラフ110の上部から下部まで直線的に整列されるはずであることに注意されたい。

20

#### 【0034】

例えば、ブレーディング88の表面での表面ブレーディングの領域の画像の輝度は、画像の他の場所よりもはるかにランダム化される傾向があることに注意されたい。したがって、この差を用いて、様々な実施形態は、表面ブレーディングと、内部カーボン複合層のような、例えば内側材料86などの内核との間の領域を識別する。詳細には、図3を再び参照すると、62において画像の輝度の局所標準偏差が算出され、これは様々な実施形態では、58の歪取りと共同して(または同時に)行われる。例えば、閾値処理プロセスを行って、閾値を超える局所標準偏差を内部カーボン複合層の部分ではないとして排除することができる。1つの実施形態では、閾値は、同様のオブジェクトの以前の検査に基づくなど、経験的に算出することができる。このように、定義された閾値を超える勾配または領域が除外される。

30

#### 【0035】

1つの実施形態では、画像の輝度の局所標準偏差は、画像全体にわたって小窓の中で計算される。この実施形態では、標準偏差が閾値限界を超える領域が表面ブレーディング領域に属すると識別される。表面ブレーディング領域と内部カーボン複合層との境界は、一定の標準偏差のラインをたどる輪郭として表される。したがって、このラインが、画像80の上部から下部までの勾配の予測される方向の流れの表示となる。ステップ62の結果は、図7の画像120に示し、画像の右側の領域124は、様々な実施形態がその中のデータを処理して異常を識別するように含まれている。しかしながら、画像120の左側の領域122は、さらなる処理から除外される。さらに、領域122の左のエリア126はオブジェクトの外側であるので、これらのエリア126もまた除外される。

40

#### 【0036】

50

その後、正則化された勾配および対象の領域（例えば構造の複合エリア）、すなわち識別された領域 124 および算出された局所標準偏差を用いて、異常（例えばしわ）が識別され、これは 1 つの実施形態では 64 において回転演算子を適用することを含む。回転演算子を適用することにより、ベクトル場の回転運動の測定を行い、これは様々な実施形態では、勾配ベクトル場の局所回転を計算することを含む。例えば 1 つの実施形態では、画像全体にわたって小窓がスキャンされ、窓の回転が計算される。回転演算子を適用する結果は、ベクトル場で計算されるスカラ値であり、場の回転を示している。複合構造の中のしわなどの異常の存在は、回転演算を用いて検出される勾配ベクトル場の局所回転につながる。したがって、回転演算の適用から生じるスカラ値が高くなると、異常の可能性が大きくなる。

10

#### 【0037】

回転演算子を適用した結果は、図 8 に示すグラフ 130 となり、領域 124 においてスカラ値が算出される。例示のグラフ 130 では、異なるスカラ値またはスカラ値の範囲を、異なる暗さの濃淡（例えばグレースケール）で示している。例えば、エリア 132 は、エリア 134 よりも暗い部分を含み、エリア 132 においてスカラ値がより高いことを示している。異なる暗さの濃淡（またはレベル）を使用する代わりに、回転がないところ（エリア 136 など）には緑色を、そして黄色から青色へ赤色へと値を増やす際にはオプションとして異なる色の濃淡または明るさを用いてなど、異なる色を使用して値を示すことができるということに注意されたい。一般に、ステップ 64 の結果は、画像の異なる領域における回転に対して異なるスカラ値となる。

20

#### 【0038】

その後、回転演算の結果について 66 において閾値処理を行う。例えば、1つまたは複数の閾値を定義して、値が異常（例えばしわ）であるかどうかを判断することができる。一部の実施形態では、異なる閾値を使用して、このエリアが特定の異常を含むという異なるレベルの信頼度を示すことができる。このように、算出された回転値に閾値を適用することによって、1つまたは複数の異常を識別することができる。閾値はやはり、経験的に算出することができる。

20

#### 【0039】

このように、画像全体にわたって回転の値が計算されると、値に閾値を適用して、異常が位置する場所を判断することができる。1つの実施形態では、閾値処理の結果は、いかなる好適な画像処理技術も適用することができる二値画像を形成する。例えば、接続構成要素の分析および分割を適用して、異常領域（例えば、欠陥領域）を局所化および測定することができる。

30

#### 【0040】

1つの実施形態では、回転計算における高応答の領域、すなわち高い値を含むエリアを使用して、異常領域を識別するために領域成長アルゴリズムをシード（seed）する。例えば、68において領域成長（例えば、領域成長アルゴリズムまたはプロセス）を適用して、閾値を超える値を有する領域が、定義された数のピクセルだけ成長して、異常領域 140 が図 9 のグラフ 142 に示すように識別される。図のように、この例示的実施形態では、閾値および領域成長の結果として、4つの異常領域 140 が識別される。識別された異常領域 140 に基づいて、対応するオーバーレイを画像 80 に提供することができる。例えば、1つの実施形態で再び図 3 を参照すると、70において、図 10 に示すような境界ボックス 150 を生成して、表示することができる。境界ボックス 150 は、異常領域 140 によって定義されるが、図 10 の矩形ボックスを形成するように拡張され、例えば異常領域 140 よりもわずかに大きい可能性があることに注意されたい。さらに、境界ボックス 150 は、境界ボックス 150 のそれぞれの中の回転値の算出されたレベルに対応して色付けする、または濃淡付けすることができる（例えば、より高い平均閾値にはより暗い色または異なる色など）。

40

#### 【0041】

方法 50 の 1 つまたは複数のステップを含む様々な実施形態は、2 次元および / または

50

3次元で行うことができることに注意されたい。例えば、1つの実施形態では、勾配ベクトル場の分析（すなわち勾配正則化および回転）は、2次元で行われるが、最終回転セグメンテーションは、3次元で行われる。

#### 【0042】

このように様々な実施形態が、例えば工業部品の検査について、超音波画像中の異常の自動検出または判定を提供する。少なくとも1つの実施形態では、検出された異常に対応するエリアは視覚的にユーザに識別されることが可能である。

#### 【0043】

例えばモジュール、またはその中の構成要素およびコントローラなど、様々な実施形態および／または構成要素は、1つまたは複数のコンピュータまたはプロセッサの一部として実装されることも可能である。コンピュータまたはプロセッサは、例えばインターネットにアクセスするために、コンピューティングデバイス、入力デバイス、ディスプレイユニット、およびインターフェースを含むことができる。コンピュータまたはプロセッサは、マイクロプロセッサを含むことができる。マイクロプロセッサは、通信バスに接続することができる。コンピュータまたはプロセッサはまた、メモリを含むことができる。メモリは、ランダムアクセスメモリ（RAM）およびリードオンリーメモリ（ROM）を含むことができる。コンピュータまたはプロセッサは、ストレージデバイスをさらに含むことができ、ストレージデバイスは、ハードディスクドライブまたはリムーバブルストレージドライブ、光ディスクドライブなどであることが可能である。ストレージドライブはまた、コンピュータプログラムまたは他の命令をコンピュータまたはプロセッサにロードするための他の同様の手段であることも可能である。

10

20

#### 【0044】

本明細書で使用される場合、「コンピュータ」または「モジュール」という用語は、マイクロコントローラを使用するシステム、縮小命令セットコンピュータ（RISC）、ASIC、論理回路、および本明細書に記載する機能を実行することができる任意の他の回路もしくはプロセッサを含む、いかなるプロセッサベースの、またはマイクロプロセッサベースのシステムを含むこともできる。上述の例は例示にすぎず、したがって、「コンピュータ」という用語の定義および／または意味を決して限定するものではない。

#### 【0045】

コンピュータまたはプロセッサは、入力データを処理するために、1つまたは複数の記憶要素に格納された一連の命令を実行する。記憶要素は、要求または必要に応じてデータまたは他の情報を格納することもできる。記憶要素は、情報源または処理機械内の物理メモリ要素の形態であることも可能である。

30

#### 【0046】

一連の命令は、処理機械としてのコンピュータまたはプロセッサに様々な実施形態の方法およびプロセスのような特定の操作を行うように命令する様々なコマンドを含むことができる。一連の命令は、ソフトウェアプログラムの形態とすることができます、これは（1つまたは複数の）有形の非一時的コンピュータ可読媒体の一部を形成することができる。ソフトウェアは、システムソフトウェアまたはアプリケーションソフトウェアなど様々な形態であることが可能である。さらにソフトウェアは、個々のプログラムまたはモジュールを集めたもの、より大きいプログラム内のプログラムモジュール、またはプログラムモジュールの一部の形態であることが可能である。ソフトウェアはまた、オブジェクト指向プログラミングの形態のモジュラープログラミングを含むことができる。処理機械による入力データの処理は、オペレータコマンドに応じる、または以前の処理の結果に応じる、または別の処理機械によって行われる要求に応じることが可能である。

40

#### 【0047】

本明細書で使用される場合、「ソフトウェア」および「ファームウェア」という用語は交換可能であり、RAMメモリ、ROMメモリ、EPROMメモリ、EEPROMメモリ、および不揮発性RAM（NVRAM）メモリなどのメモリに、コンピュータで実行するために格納したいかなるコンピュータプログラムも含む。上記のメモリタイプは例示にす

50

ぎず、したがってコンピュータプログラムを格納するために使用できるメモリのタイプに関する限定するものではない。

#### 【0048】

上述の説明は、例示であって、限定的ではないことを理解されたい。例えば、上述の実施形態（および／またはその態様）は、互いと組み合わせて用いることができる。さらに、特定の状況または材料を様々な実施形態の教示内容に適合させるために、その範囲を逸脱することなく多くの変更を行うことができる。本明細書に記載する材料の寸法およびタイプは、様々な実施形態のパラメータを定義するように意図されているが、諸実施形態は決して限定的ではなく、例示的な諸実施形態である。上述の説明を検討すると、当業者には他の多くの実施形態が明らかとなるであろう。したがって、様々な実施形態の範囲は、添付の特許請求の範囲、ならびにこの特許請求の範囲が権利を有する均等物の全範囲を参照して決定されるべきである。添付の特許請求の範囲では、「含む（inc luding）」および「において（in which）」という用語は、それぞれ「含む（com prising）」および「において（wherein）」という用語の平易な英語の同義語として使用されている。さらに、次の特許請求の範囲では、「第1」、「第2」、および「第3」などの用語は、単にラベルとして使用されており、その対象物に数的要件を課すものではない。さらに、後述する特許請求の範囲の限定は、手段プラス機能（means-plus-function）フォーマットで書かれておらず、そのような請求項の限定が、「ための手段（means for）」という語句を明白に使用して、その後にさらなる構造を伴わない機能の記述が続くことがない限り、35 U.S.C. 第112条、第6パラグラフに基づいて解釈されることを意図していない。10

#### 【0049】

この記載する説明は例を用いて、最良の方式など、様々な実施形態を開示し、またいかなる当業者でも任意の装置またはシステムを作成して使用すること、および組み込まれた方法を行うことなど、様々な実施形態を実行できるようにしている。様々な実施形態の特許可能な範囲は、特許請求の範囲により定義するが、当業者であれば思い付く他の例も含むことができる。このような他の例は、特許請求の範囲の文字通りの言葉と違わない構造的要素を有する場合、または、特許請求の範囲の文字通りの言葉とはわずかな違いを有する等価な構造的要素を含む場合、特許請求の範囲の範囲内であるとする。20

#### 【符号の説明】

#### 【0050】

- 20 検査システム
  - 22 オブジェクト
  - 24 データ取得／制御システム
  - 26 プローブ
  - 28 マニピュレータ
  - 30 インタフェース
  - 32 プロセッサ
  - 34 メモリ
  - 36 ディスプレイ
  - 38 通信リンク
  - 39 ユーザ入力
- 30
- 40

【図1】

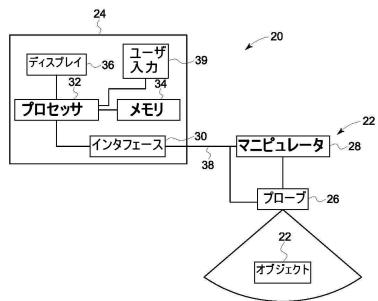


FIG. 1

【図2】

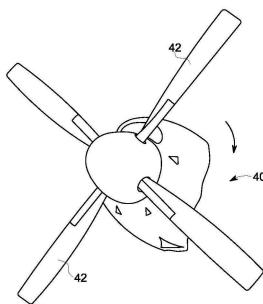


FIG. 2

【図3】

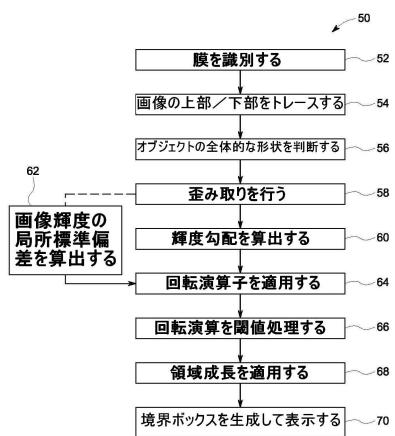


FIG. 3

【図4】

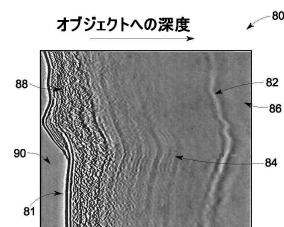


FIG. 4

【図5】

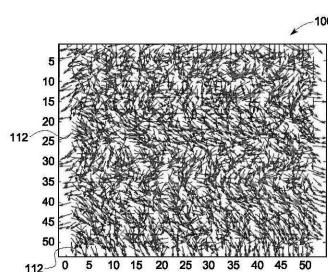


FIG. 5

【図6】

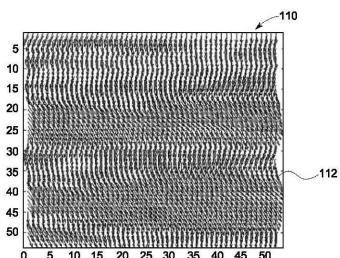


FIG. 6

【図8】

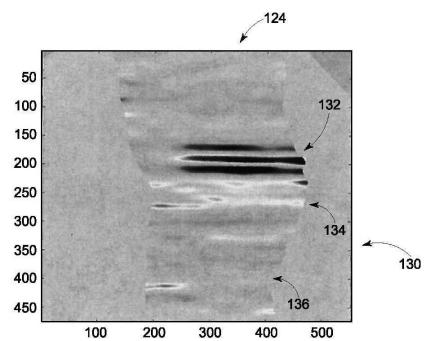


FIG. 8

【図7】

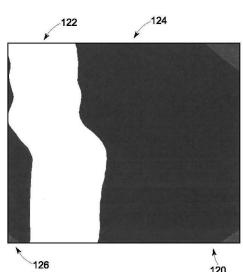


FIG. 7

【図9】

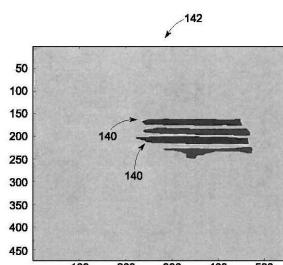


FIG. 9

【図10】

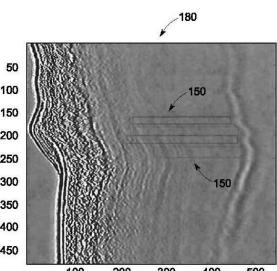


FIG. 10

---

フロントページの続き

- (72)発明者 グレン・ウイリアム・ブルックスビー  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ケイ1 - 3 A 5 9 · ビルディング、ワン・リサーチ・サークル
- (72)発明者 パウロ・リカルド・ド・サントス・メンドンカ  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ケイ1 - 3 A 5 9 · ビルディング、ワン・リサーチ・サークル
- (72)発明者 シュバオ・リュー  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ケイ1 - 3 A 5 9 · ビルディング、ワン・リサーチ・サークル
- (72)発明者 キ・ソン  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ケイ1 - 3 A 5 9 · ビルディング、ワン・リサーチ・サークル

審査官 越柴 洋哉

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2011/0109627(US, A1)  
特開昭61-203949(JP, A)  
特開2009-294163(JP, A)  
米国特許出願公開第2011/0274369(US, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 29/00 - 29/52