

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5491493号
(P5491493)

(45) 発行日 平成26年5月14日(2014.5.14)

(24) 登録日 平成26年3月7日(2014.3.7)

| (51) Int.Cl. | | F I | |
|--------------|-----------|--------------|-------|
| GO 1 N 29/00 | (2006.01) | GO 1 N 29/00 | 5 0 1 |
| GO 1 N 29/04 | (2006.01) | GO 1 N 29/04 | 5 0 1 |
| GO 1 N 29/26 | (2006.01) | GO 1 N 29/26 | |
| GO 1 B 11/24 | (2006.01) | GO 1 B 11/24 | K |

請求項の数 25 (全 21 頁)

| | | | |
|---------------|-------------------------------|-----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願2011-502034 (P2011-502034) | (73) 特許権者 | 598028028 |
| (86) (22) 出願日 | 平成21年3月26日 (2009.3.26) | | ロッキード マーティン コーポレイション |
| (65) 公表番号 | 特表2011-522217 (P2011-522217A) | | Lockheed Martin Corporation |
| (43) 公表日 | 平成23年7月28日 (2011.7.28) | | アメリカ合衆国 20817 メリーランド州, ベセスダ, ロックリッジ ドライブ 6801 |
| (86) 国際出願番号 | PCT/US2009/038309 | (74) 代理人 | 100088616 |
| (87) 国際公開番号 | W02009/120813 | | 弁理士 渡邊 一平 |
| (87) 国際公開日 | 平成21年10月1日 (2009.10.1) | (74) 代理人 | 100089347 |
| 審査請求日 | 平成24年2月27日 (2012.2.27) | | 弁理士 木川 幸治 |
| (31) 優先権主張番号 | 61/040, 415 | (74) 代理人 | 100154379 |
| (32) 優先日 | 平成20年3月28日 (2008.3.28) | | 弁理士 佐藤 博幸 |
| (33) 優先権主張国 | 米国 (US) | | |
| (31) 優先権主張番号 | 12/202, 016 | | |
| (32) 優先日 | 平成20年8月29日 (2008.8.29) | | |
| (33) 優先権主張国 | 米国 (US) | | |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 部品の姿勢を表す点データに3次元モデルを位置合わせするシステム、プログラム、および関連する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

検査セル内に遠隔配置可能な部品の非破壊評価のための自動化された3次元画像位置合わせを実施するシステムであって、

走査ヘッドを備えたレーザ超音波検査デバイスであって、前記走査用ヘッドは、

予め画定された検査セル内に遠隔配置される部品に超音波表面変位を生成する超音波源と、

検査レーザと、

前記検査レーザによる走査中に、前記遠隔配置される部品によって反射された位相変調光であって、検査データを提供するために、前記遠隔配置される部品の前記超音波表面変位によって変調された位相変調光を収集する干渉計と

を含む、レーザ超音波検査デバイスと、

前記遠隔配置される部品の少なくとも1つの表面上の複数の点であって、前記遠隔配置される部品が前記検査セル内に配置されたときに、前記部品の前記少なくとも1つの表面の被測定姿勢を表す複数の点と、走査用レーザ参照位置との間の距離を測定するように配置された部品位置ロケータであって、

光源を提供するように配置され、かつ、前記光源に関連した前記走査用レーザ参照位置を有する走査用レーザと、

前記遠隔配置される部品の前記少なくとも1つの表面に沿って前記光源を向けるように配置された少なくとも1つの走査用ミラーと、

10

20

前記走査用レーザによって提供されたレーザ光の、前記部品の前記少なくとも1つの表面から反射される反射レーザ光を受信して、前記部品の前記少なくとも1つの表面上の複数の点と前記走査用レーザ参照位置との間の距離を確定するように配置された受光器とを含んだ部品位置ロケータと、

前記レーザ超音波検査デバイス及び前記部品位置ロケータと通信するレーザ超音波検査コンピュータであって、プロセッサと、該プロセッサと通信するメモリを含んだレーザ超音波検査コンピュータと、

前記レーザ超音波検査コンピュータの前記メモリに格納されたレーザ超音波検査プログラムであって、前記レーザ超音波検査コンピュータの前記プロセッサによって実行されると、

10

前記遠隔配置される部品の3次元モデル用のモデルデータを受信するステップと、

レンジデータを規定する前記検査セル内で前記被測定姿勢にあるときに、前記遠隔配置される部品の少なくとも1つの表面上の点を表すデータの点群を、前記部品位置ロケータから受信するステップと、

前記検査セル内で、前記遠隔配置される部品の前記3次元モデルを前記部品の被測定姿勢に位置整合させる整合ステップであって、

前記レンジデータに対して前記3次元モデルの位置合わせを行うステップであって、前記3次元モデル上の複数のデータ点をソースとして用い前記レンジデータをターゲットとして用い、かつ、前記3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有する前記レンジデータ内の点のセットを特定することを含む、ステップと、

20

前記3次元モデルに対する高い対応確率を有する前記レンジデータ内の前記特定された点のセットの位置合わせを実施するステップであって、前記3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有する前記レンジデータをソースとして用い、前記3次元モデル上のデータ点をターゲットとして用いることを含む、ステップと

からなる整合ステップと

からなるオペレーションを実行するためのレーザ超音波検査プログラムとを備えていることを特徴とするシステム。

【請求項2】

請求項1記載のシステムにおいて、前記オペレーションはさらに、前記検査データの向上した可視化を提供するために、収集された検査データを、前記部品姿勢における前記3次元モデル上に関連付けるステップを含み、

30

前記システムはさらに、対応する複数の部品のそれぞれについての複数のコンピュータ支援設計モデル及び前記検査セルの少なくとも1つのモデルを含むデータベースを備えている

ことを特徴とするシステム。

【請求項3】

請求項1又は2記載のシステムにおいて、前記レンジデータに対して前記3次元モデルの位置合わせを実施するステップは、

前記3次元モデル上の前記データ点と前記3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有する前記レンジデータ内の前記点のセットとの間の変換を決定するステップを含む

40

ことを特徴とするシステム。

【請求項4】

請求項3記載のシステムにおいて、

前記変換は、第1の変換T1であり、

前記3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有する前記レンジデータ内の前記点のセットは、インターラクティブ最近点アルゴリズムを使用して計算された前記3次元モデル(101)内の対応する点に最も近い前記レンジデータ内の点のセットを含んでいる

ことを特徴とするシステム。

【請求項5】

50

請求項 3 記載のシステムにおいて、

前記変換は、第 1 の変換 T 1 であり、

前記 3 次元モデルに対して高い対応確率を有する前記レンジデータ内の前記特定された点のセットの位置合わせを実施するステップは、前記 3 次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有する前記レンジデータ内の前記点のセットと、前記 3 次元モデル上のデータ点との間の第 2 の変換 T 2 を決定するステップを含む

ことを特徴とするシステム。

【請求項 6】

請求項 5 記載のシステムにおいて、前記整合ステップは、前記遠隔配置される部品を、該部品の前記 3 次元モデルと位置合わせするために、前記第 1 の変換 T 1 と前記第 2 の変換 T 2 の逆変換との結合を決定するステップを含むことを特徴とするシステム。

10

【請求項 7】

請求項 6 記載のシステムにおいて、前記遠隔配置される部品の、該部品の前記 3 次元モデルに対する前記位置合わせは、前記レンジデータ内の異常値の存在にも前記レンジデータ内の抜けているデータにも依存しないロバストな一致を提供することを特徴とするシステム。

【請求項 8】

請求項 6 記載のシステムにおいて、前記オペレーションはさらに、前記遠隔配置される部品の、該部品の前記 3 次元モデルに対する位置合わせに応答して、前記検査データを、前記部品姿勢における前記部品の前記 3 次元モデルにマッピングするステップを含むことを特徴とするシステム。

20

【請求項 9】

請求項 6 記載のシステムにおいて、前記整合ステップは、異常値を除去するために前記レンジデータを事前フィルタリングすることなく、または、抜けているデータを事前に考慮することなく、実施されることを特徴とするシステム。

【請求項 10】

請求項 6 記載のシステムにおいて、前記レーザ超音波検査デバイス及び前記部品位置ロケータは、少なくとも 5 つの自由度を有する走査用ヘッド内に搭載されていることを特徴とするシステム。

【請求項 11】

コンピュータ読み取り可能な非一時的記憶媒体に記憶されたインストラクションからなり、部品の自動化された 3 次元モデル画像の位置合わせを実行するためのプログラムであって、コンピュータによって実行されたときに、

30

部品の 3 次元モデルのモデルデータを受信するオペレーションと、

レンジデータを規定する検査セル内で被測定姿勢にあるときに、前記部品の少なくとも 1 つの表面上の点を表すデータを受信するオペレーションと、

前記部品の前記 3 次元モデルを、該部品の前記被測定姿勢に位置整合させるオペレーションであって、

前記レンジデータに対して前記 3 次元モデルを位置合わせするオペレーションであって、前記部品の前記 3 次元モデル上のデータ点をソースとして用い、前記レンジデータをターゲットとして用い、かつ、前記 3 次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有する前記レンジデータ内の点の組を特定することを含む、オペレーションと、

40

高い対応確率を有する前記レンジデータ内の特定された点の組の位置合わせを前記 3 次元モデルに対して実行するオペレーションであって、前記 3 次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有するレンジデータをソースとして用い、かつ、前記部品の前記 3 次元モデル上のデータ点をターゲットとして用いることを含む、オペレーションと

からなる位置整合オペレーションと

をコンピュータが実行するように構成されていることを特徴とするプログラム。

【請求項 12】

請求項 11 記載のプログラムにおいて、前記レンジデータに対して前記 3 次元モデルを位

50

置合わせするオペレーションはさらに、

前記部品を該部品の前記3次元モデルと位置合わせするために、前記部品の前記3次元モデル上のデータ点と前記レンジデータとの間の第1の変換T1、及び、前記3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有する前記レンジデータ内の前記点の組と前記3次元モデル上の前記データ点と間の第2の変換T2の反転の結合を決定するオペレーションを含み、

前記プログラムはさらに、検査データの向上した可視化を提供するために、取得された検査データを、前記部品の前記被測定姿勢における前記3次元モデル上に関連付けるオペレーションを含んでいることを特徴とするプログラム。

10

【請求項13】

請求項11記載のプログラムにおいて、前記3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有する前記レンジデータ内の前記点の組は、繰り返し最近点アルゴリズムを使用して計算された前記3次元モデル内の対応する点に最も近い前記レンジデータ内の点の組であることを特徴とするプログラム。

【請求項14】

請求項13記載のプログラムにおいて、

変換は、第1の変換T1であり、

前記3次元モデルに対して高い対応確率を有する前記レンジデータ内の前記特定された点のセットの位置合わせを実施するオペレーションは、前記3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有する前記レンジデータ内の前記点の組と前記3次元モデル上の前記データ点と間の第2の変換T2を決定するオペレーションを含み、

20

前記位置整合オペレーションはさらに、前記部品を該部品の前記3次元モデルと位置合わせするために、前記第1の変換T1及び前記第2の変換の反転の結合を決定するオペレーションを含み、

プログラムはさらに、前記部品の前記3次元モデルに対する該部品の位置合わせにตอบสนองして、前記検査データを、前記部品の前記被測定姿勢における前記3次元モデルにマッピングするオペレーションを含んでいる

ことを特徴とするプログラム。

【請求項15】

請求項14記載のプログラムにおいて、

前記部品の前記3次元モデルに対する該部品の位置合わせは、前記レンジデータ内の異常値の存在及び前記レンジデータ内の抜けているデータの両方に無関係なロバストな一致を提供し、

30

前記位置整合オペレーションは、異常値を除去するために前記レンジデータを事前フィルタリングすることなく、または、抜けているデータを事前に考慮することなく、実行される

ことを特徴とするプログラム。

【請求項16】

検査セル内に遠隔配置可能な部品の自動化された3次元画像位置合わせを実行する方法であって、

40

前記コンピュータによって、検査される部品がレンジデータを規定する前記検査セル内に配置されると、該部品の少なくとも1つの表面上の複数の点の位置を確定するステップと、

前記コンピュータによって、検査される前記部品の仮想の3次元モデル上のデータ点に対応する高い確率を有する前記レンジデータ内の点の組を特定するステップと、

前記コンピュータによって、前記3次元モデル上の前記データ点と前記3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有する前記レンジデータ内の前記点の組との間の第1の変換T1を決定するステップと、

前記コンピュータによって、前記3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有す

50

る前記レンジデータ内の前記点の組と前記3次元モデル上の前記データ点と間の第2の変換T2を決定するステップと、

前記コンピュータによって、前記第1の変換T1と前記第2の変換T2の反転との結合を決定し、それにより、部品姿勢において、前記3次元モデルを前記部品と位置整合させるステップと、

前記コンピュータによって、前記検査データの向上した可視化を提供するために、取得された検査データを、前記部品姿勢における前記3次元モデル上に関連付けるステップとを含んでいることを特徴とする方法。

【請求項17】

請求項16記載の方法に於いて、検査される前記部品の3次元モデル上のデータ点に対応する高い確率を有する前記レンジデータ内の点の組を決定するステップは、繰り返し最近点アルゴリズムを使用して計算された前記3次元モデル内の対応する点に最も近い前記レンジデータ内の点の組を決定するステップを含むことを特徴とする方法。

10

【請求項18】

請求項16記載の方法において、前記位置整合させるステップは、前記レンジデータ内の異常値の存在及び前記レンジデータ内の抜けているデータの両方に無関係なロバストな一致を提供することを特徴とする方法。

【請求項19】

請求項16記載の方法において、前記第1の変換T1を決定するステップ、前記第2の変換T2を決定するステップ、及び、前記第1の変換T1と前記第2の変換T2の反転の結合を決定するステップは、異常値を除去するために前記レンジデータを事前フィルタリングすることなく、または、抜けているデータを事前に考慮することなく、手作業で位置合わせするための前記部品上の点の組を特定することなく、また、前記データ内の特定の点との対応を有する前記3次元モデル内の特定の点を手作業で選択することなく、実行されることを特徴とする方法。

20

【請求項20】

検査セル内に遠隔配置可能な部品の自動化された3次元画像位置合わせを実行する方法であって、

プロセッサによって、前記部品の3次元モデル用のモデルデータを受信するステップと、

30

前記プロセッサによって、レンジデータを規定する前記検査セル内で前記部品が被測定姿勢にあるときに、該部品の少なくとも1つの表面上の点を表すデータを受信するステップと、

プロセッサによって、前記部品の前記3次元モデルを前記部品の前記被測定姿勢に位置整合させるステップであって、

前記レンジデータに対して前記3次元モデルを位置合わせするステップであって、遠隔配置される部品の前記3次元モデル上のデータ点をソースとして用い、前記レンジデータをターゲットとして用い、かつ、前記3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有する前記レンジデータ内の点の組を特定するステップを含む、ステップと、

高い対応確率を有する前記レンジデータ内の特定された点の組の位置合わせを前記3次元モデルに対して実行するステップであって、前記3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有するレンジデータをソースとして用い、かつ、前記部品の前記3次元モデル上のデータ点をターゲットとして用いるステップを含む、ステップと

40

からなる位置整合ステップと

からなることを特徴とする方法。

【請求項21】

部品の自動化された3次元モデル画像の位置合わせを実行するための1組のインストラクションを記憶したコンピュータによって読み取り可能な非一時的記憶媒体であって、コンピュータによって実行されたときに、前記インストラクションによって、

前記部品の3次元モデルのモデルデータを受信するオペレーションと、

50

レンジデータを規定する検査セル内で被測定姿勢にあるときに、前記部品の少なくとも1つの表面上の点を表すデータを受信するオペレーションと、

前記部品の前記3次元モデルを、該部品の前記被測定姿勢に位置整合させるオペレーションであって、

前記レンジデータに対して前記3次元モデルを位置合わせするオペレーションであって、遠隔配置される部品の前記3次元モデル上のデータ点をソースとして用い、前記レンジデータをターゲットとして用い、かつ、前記3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有する前記レンジデータ内の点の組を特定することを含む、オペレーションと、

高い対応確率を有する前記レンジデータ内の特定された点の組の位置合わせを前記3次元モデルに対して実行するオペレーションであって、前記3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有するレンジデータをソースとして用い、かつ、前記部品の前記3次元モデル上のデータ点をターゲットとして用いることを含む、オペレーションとからなる位置整合オペレーションと

を前記コンピュータが実行するように構成されていることを特徴とする記憶媒体。

【請求項22】

請求項21記載の記憶媒体において、前記レンジデータに対して前記3次元モデルを位置合わせするオペレーションはさらに、

前記部品を該部品の前記3次元モデルと位置合わせするために、前記部品の前記3次元モデル上のデータ点と前記レンジデータとの間の第1の変換T1、及び、前記3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有する前記レンジデータ内の前記点の組と前記3次元モデル上の前記データ点と間の第2の変換T2の反転の結合を決定するオペレーションを含み、

前記コンピュータによって実行されるオペレーションはさらに、検査データの向上した可視化を提供するために、取得された検査データを、前記部品の前記被測定姿勢における前記3次元モデル上に関連付けるオペレーションを含んでいることを特徴とする記憶媒体。

【請求項23】

請求項21記載の記憶媒体において、前記3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有する前記レンジデータ内の前記点の組は、繰り返し最近点アルゴリズムを使用して計算された前記3次元モデル内の対応する点に最も近い前記レンジデータ内の点のセットであることを特徴とする記憶媒体。

【請求項24】

請求項23記載の記憶媒体において、

前記変換は、第1の変換T1であり、

前記3次元モデルに対して高い対応確率を有する前記レンジデータ内の前記特定された点のセットの位置合わせを実施するオペレーションは、前記3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有する前記レンジデータ内の前記点の組と前記3次元モデル上の前記データ点と間の第2の変換T2を決定するオペレーションを含み、

前記位置整合オペレーションはさらに、前記部品を該部品の前記3次元モデルと位置合わせするために、前記第1の変換T1と前記第2の変換の反転との結合を決定するオペレーションを含み、

前記コンピュータによって実行される前記オペレーションはさらに、前記部品の前記3次元モデルに対する該部品の位置合わせに回答して、前記検査データを、前記部品の前記被測定姿勢における前記3次元モデルにマッピングするオペレーションを含んでいることを特徴とする記憶媒体。

【請求項25】

請求項24記載の記憶媒体において、

前記部品の前記3次元モデルに対する該部品の位置合わせは、前記レンジデータ内の異常値の存在及び前記レンジデータ内の抜けているデータのいずれにも無関係なロバストな一致を提供し、

10

20

30

40

50

前記部品の前記3次元モデルを前記検査セル内の前記部品の前記被測定姿勢に位置整合させるオペレーションは、異常値を除去するために前記レンジデータを事前フィルタリングすることなく、または、抜けているデータを事前に考慮することなく、実行されることを特徴とする記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、3次元走査に関し、具体的には、3次元モデル位置合わせを実施するシステム、プログラム製品、および方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、たとえば、高度複合構造などの種々の構造の使用は、航空産業、自動車産業、および多くの他の商業的産業において著しい成長を遂げた。複合材料は、大幅な性能の改善を提供するが、製造プロセスにおいて厳しい品質管理手順を必要とする。具体的には、非破壊評価(non-destructive evaluation) (「NDE」)法は、たとえば、含有、剥離、および多孔性を検出するために、種々の構造の構造的完全性を評価することを必要とされる。しかし、従来のNDE法は、慣例的に労働集約的かつ高価であった。結果として、試験手順は、複合構造に関連する製造コストを逆に増加させた。

【0003】

複合構造の構造的完全性を評価するための種々のシステムおよび技法が、提案されている。たとえば、超音波試験は、層厚、割れ、剥離、ボイド、接合部剥れ、異物包含、ファイバ断片、ファイバ配向および多孔性を含む材料の種々の特徴を測定するのに使用される非侵襲的で一般に非破壊的な技法を提供する非常に有用な方法として出現した。こうした特徴は、所与のアプリケーションにおいて、所与の材料の品質および性能に影響を及ぼす。ある構造の各アプリケーションは、材料の構造的品質に対して、異なった強度、柔軟性、熱特性、コスト、または紫外線放射耐性についての必要性を含む、固有の要件を課す。要件の変化によって、材料のより非侵襲的で非破壊的な試験が、超音波試験などの技法を使用して実施されている。超音波試験は、変換器誘導性、レーザ、電磁誘導性、およびプラズマ始動式超音波を含む。変換器誘導性超音波技法は、物体内で超音波信号を誘導するのに圧電変換器を使用する。

【0004】

超音波技法は、研究環境ならびに産業環境で適用される。研究では、超音波技法は、所望の特徴を求めて新しい材料を試験するために使用される。技法はまた、応力または環境耐久試験を受けた材料内の欠陥を探すために使用される。産業では、この技法は、欠陥について部品を検査する定期サービス作業中に使用される。飛行機産業、自動車産業、および他の商業的産業は、これらの技法に高い関心を示している。

【0005】

大面積撮像デバイスはまた、NDEアプリケーションに対して速度および柔軟性の多くの利点を提供する。こうした撮像デバイスは、種々の部品の幾何形状およびサイズに対処するように迅速に再構成されることができ、また、センサまたは部品のための精密な取り付け無しで配置されることができる。検査される部品が大きいまたは複雑である(多くの屈曲部を有する)とき、アプリケーションは、検査を完了させるために、いくつかのセンサを使用するか、または、単一センサを複数の視点に移動させる。オペレータは、その後、単一部品について、いくつかの画像を検討し、全く異なる画像間で指標を空間的に関連付け、画像の集合が部品を完全にカバーすると考えなければならない。

【0006】

種々の非破壊評価システムは、大面積撮像デバイスとしてレーザ超音波を使用しうる。こうしたシステムは、たとえば、作業セル内の部品を位置特定する構造化光レンジカメラなどの3次元スキャナを使用しうる。たとえば、3次元スキャナは、部品の表面上で幾何形状サンプルの点群(「点データ(point data)」)を生成しうる。こうした点データは、

10

20

30

40

50

所与の環境(「センサデータ(sensor data)」)において部品の姿勢を表しうる。しかし、点データは、通常、直接に利用されることはない。システムが、レーザ超音波撮像デバイスからの3次元データを、部品のコンピュータ支援設計(computer-aided design)(「CAD」)モデルに関連付けることを可能にする座標フレームを規定するために、カメラ較正、写真測量、三角法、および位置合わせ技法が使用される。システムは、その後、種々の視点からの超音波データをCADモデル上にマッピングし、オペレータが、指標を関連付け、スキャン範囲を評価するための自然な3次元座標フレームを生成しうる。

【0007】

しかし、本発明者等が認識するのは、部品の姿勢を表す点データに対する3次元モデルの位置合わせが、センサデータの2つの基本的な特性の組合せによって複雑になることである。第1は、センサデータの一部として採取されるが、モデル上の点を表さない異常値の存在である。これらの点は、センサ内のノイズから、または、遮蔽する表面、壁、テーブルトップなどのシーン内の他の物体から生じうる。第2は、たとえば、部品が遮蔽されるか、または、センサのレンジ外であった場所から生じるモデルのセクションについてデータが存在しないことである。過去の実施態様は、異常値を除去するためにデータを事前フィルタリングすることによって、かつ/または、モデルの領域および使用するセンサデータのメニュー選択によって、この問題を回避する。しかし、こうした技法は、効率を低下させ、位置合わせがたとえ可能であっても、位置合わせを実施するのに必要な時間を増加させる。

【0008】

こうしたモデルを位置整合させようと試みて目下のところ使用されているアルゴリズムは、「繰り返し最近点(Iterative Closest Point)」アルゴリズムを含む。このアルゴリズムは、ソース内の点を選択し、これらの点のそれぞれに対する、ターゲット内の最近点を計算し、次に、各点とその対応成分との間の距離を最小にする変換を計算し、次に、この変換をソースに適用し、各点をターゲットの近くに移動させることによって働く。このプロセスは、ソースとターゲットが十分に近くなるか、一定数の反復が実施されるか、または、位置合わせが失敗するまで、繰返される(反復される)。Besl等著「Method for Registration of 3-D Shapes」IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 14, pp. 239-256(1992)(参照によりその全体が組込まれる)は、アルゴリズムの従来への適用に関するさらなる詳細を提供する。このアルゴリズムは、ソースとターゲットが最初に接近しているときで、かつ、ソース内の点が全て、ターゲット内の対応点を有するときに、一般にうまく働く。しかし、ターゲット内の任意の真の対応成分から「遠い(far)」点が、ソース内に存在する場合、選択された「誤った(false)」対応位置に基づく変換の最小化は、実際の位置合わせを阻止しうる。特に、異常値を含むセンサデータが、ソースであるように選択されると、異常値は、モデルに関して真の対応位置を持たず、位置合わせは失敗する。同様に、センサデータが、モデルを完全にカバーしないとき、モデルをソースとして使用することが失敗する。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

したがって、本発明者等が認識するのは、ノイズを含みかつ不完全なセンサデータが、対応位置の領域を手作業で指定することなく、また、データソースのアドホックフィルタリングを行うことなく、自動的に登録されることを可能にする、自動化された3次元モデル位置合わせを実施するシステム、プログラム製品、および方法についての必要性である。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記を考慮して、本発明の実施形態は、有利に、ノイズを有し、不完全なセンサデータ

10

20

30

40

50

が、対応位置の領域を手作業で指定することなく、また、データソースのアドホックフィルタリングを行うことなく、自動的に登録されることを可能にする、自動化された3次元モデル位置合わせを実施するシステム、プログラム製品、および方法を提供する。本発明の実施形態はまた、有利に、ノイズを有するセンサデータが、修正されることなく、関心領域を特定することなく、モデルとレンジ（センサ）データとの間の初期点对応を特定することなく、そのまま使用されることを可能にする、自動化された3次元モデル位置合わせを実施するシステム、プログラム製品、および方法を提供する。本発明の実施形態はまた、有利には、モデルおよびセンサデータのセットの採取、センサデータに関して正確な位置の近くへのモデルデータの配置、およびモデルおよびセンサデータに対するアルゴリズムの適用を実施するシステム、プログラム製品、および方法を提供し、それにより、最終変換が、センサデータに対するモデルの位置合わせを示す。本発明の実施形態は、たとえば、ソースとターゲットを交換する「対話的最接近点」（ICP）アルゴリズムの2つのアプリケーションを使用して、ノイズを有し、不完全なセンサデータ内で、自動的に、異常値を排除し穴をブリッジするメカニズムを設けることによって、ICPアルゴリズムの適用を改善する。

10

【0011】

より具体的には、本発明の実施形態は、検査セル内に遠隔配置可能な部品の非破壊評価のための自動化された3次元画像位置合わせを実施するシステムを含む。たとえば、本発明の実施形態によれば、システムは、予め画定された検査セル内に配置された、遠隔配置される部品において超音波表面変位を生成する超音波源と、検査レーザと、検査レーザによる走査中に、遠隔配置される部品によって反射される位相変調光を収集する干渉計とを含む走査用ヘッドを有するレーザ超音波検査デバイスを含みうる。システムはまた、遠隔配置される部品の少なくとも1つの表面上の複数の点と走査用レーザ参照位置との間の距離を測定するように配置された、たとえば構造化光カメラなどの部品位置ロケータを含みうる。複数の点は、遠隔配置される部品が検査セル内に配置された時の、その少なくとも1つの表面の被測定姿勢を全体として表す。部品位置ロケータは、光源を提供するように配置され、かつ、光源に関連する参照位置を有する走査用レーザと、遠隔配置される部品の少なくとも1つの表面に沿って光源を向けるように配置された少なくとも1つの走査用ミラーと、走査用レーザによって提供され、かつ、部品の少なくとも1つの表面から反射される、反射レーザ光を受信し、それにより、部品の少なくとも1つの表面上の複数の点と走査用レーザ参照位置との間の距離を確定するように配置された受光器とを含みうる。システムはまた、対応する複数の関心部品のそれぞれについての複数のコンピュータ支設計モデルおよび検査セルの少なくとも1つのモデルを含むデータベースを含みうる。システムはまた、レーザ超音波検査デバイスおよび部品位置ロケータと通信し、プロセッサ、およびプロセッサと通信する、部品の自動化された3次元画像位置合わせを実施するようになっているレーザ超音波検査プログラム製品を格納するプロセッサと通信するメモリを含むレーザ超音波検査コンピュータを含みうる。

20

30

【0012】

本発明の実施形態はまた、触知可能コンピュータ媒体に格納されるプログラム製品を含む。たとえば、レーザ超音波検査プログラム製品は、本発明の実施形態に従って提供されることができ、レーザ超音波検査プログラム製品は、レーザ超音波検査コンピュータなどのコンピュータによって実行されると、部品の3次元モデルのためのモデルデータを取出すかまたはその他の方法で受信するオペレーションと、レンジデータを規定する検査セル内で被測定姿勢にあるときに、部品の少なくとも1つの表面上の点を表すデータを取出すかまたはその他の方法で受信するオペレーションと、部品の3次元モデルを、部品の被測定姿勢に位置整合させるオペレーションと、検査データの向上した可視化を提供するために、採取された検査データを、部品姿勢における3次元モデル上に関連付けて検査データの向上した可視化を提供するオペレーションと、部品の3次元モデルに対する部品の位置合わせに回答して、検査データを、部品姿勢における3次元モデルにマッピングするオペレーションとを、コンピュータに実施させる命令を含む。位置整合させるオペレーション

40

50

は、3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有するレンジデータ内の点のセットを特定することを含む、レンジデータに対して3次元モデルの位置合わせを実施すること、および、3次元モデルに対する、高い対応確率を有するレンジデータ内の特定された点のセットの位置合わせを実施することを含む。位置整合させるオペレーションはまた、部品を、部品の3次元モデルと位置合わせするために、ソースとしてのモデルデータを規定する部品の3次元モデル上のデータ点と、ターゲットとしてのレンジデータとの間の第1の変換、および、3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有するレンジデータ内の点のセットと3次元モデル上のデータ点との間の第2の変換の逆変換の結合体を確定することを含む。

【0013】

レンジデータに対して3次元モデルの位置合わせを実施するオペレーションは、モデルデータを規定する部品の3次元モデル上のデータ点をソースとして、また、レンジデータをターゲットとして利用すること、および、3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有するレンジデータ内の点のセットおよびソースとターゲットとの間の変換「T1」を確定することを含む。3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有するレンジデータ内の点のセットは、繰り返し最近点アルゴリズムを使用して計算された3次元モデル内の対応する点に最も近いレンジデータ内の点のセットでありうる。3次元モデルに対して高い対応確率を有するレンジデータ内の特定された点のセットの位置合わせを実施するオペレーションはまた、レンジデータ内の特定された点のセットをソースとして、および、モデルデータをターゲットとして利用すること、および、ソースとターゲットとの間の第2の変換「T2」を確定することを含む。位置合わせするオペレーションは、部品を、部品の3次元モデルと位置合わせするために、変換T1と第2の変換T2の逆変換の結合体を確定することを含む。有利には、部品の3次元モデルに対する部品の位置合わせは、レンジデータ内の異常値の存在とレンジデータ内の抜けているデータの両方に無関係なロバストな一致を提供する。さらに有利には、部品の3次元モデルを、検査セル内の部品の被測定姿勢に位置整合させるオペレーションは、異常値を除去するためにレンジデータを事前フィルタリングすることなく、または、抜けているデータを事前に考慮することなく、実施される。

【0014】

本発明の実施形態はまた、検査セル内に遠隔配置可能な部品の自動化された3次元画像位置合わせを実施する方法を含む。こうした方法の実施形態によれば、方法は、レンジデータを規定する検査セル内に配置されると、検査される部品の少なくとも1つの表面上で複数の点の位置を確定するステップと、検査される部品の3次元モデル上のデータ点に対応する高い確率を有するレンジデータ内の点のセットを特定するステップと、たとえば、異常値を除去するなどのために、3次元モデル上のデータ点と3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有するレンジデータ内の点のセットとの間の第1の変換T1を確定するステップと、たとえば、抜けているデータを考慮する（モデルが、より多くの部品およびレンジデータをカバーする場合、バイアスを除去する）などのために、3次元モデル上の実際の点に対応する高い確率を有するレンジデータ内の点のセットと3次元モデル上のデータ点との間の第2の変換を確定するステップとを含む。ステップはまた、第1の変換と第2の変換の逆変換との結合体を確定するステップであって、それにより、部品姿勢において、3次元モデルを部品と位置整合させる、確定するステップと、検査データの向上した可視化を提供するために、採取された検査データを、部品姿勢における3次元モデル上に関連付けるステップとを含む。

【0015】

本発明の実施形態はまた、部品の自動化された3次元画像位置合わせを実施するために、コンピュータによって読取り可能なコンピュータ読取り可能媒体を含む。コンピュータ読取り可能媒体の実施形態によれば、コンピュータ読取り可能媒体は、コンピュータによって実行されると、部品の3次元モデルのためのモデルデータを取出すかまたはその他の方法で受信するオペレーションと、レンジデータを規定する検査セル内で被測定姿勢にあ

10

20

30

40

50

るときに、部品の少なくとも1つの表面上の点を表すデータを取出すかまたはその他の方法で受信するオペレーションと、部品の3次元モデルを、部品の被測定姿勢に位置整合させるオペレーションと、検査データの向上した可視化を提供するために、採取された検査データを、部品姿勢における3次元モデル上に関連付けるオペレーションと、部品の3次元モデルに対する部品の位置合わせに応答して、検査データを、部品姿勢における3次元モデルにマッピングするオペレーションとを、コンピュータに実施させる命令のセットを含みうる。

【0016】

本発明の特徴および利点、ならびに明らかになるであろう他の特徴および利点がより詳細に理解されるように、先に簡潔に要約された本発明のより詳細な説明を、本仕様の一部を形成する添付図面に示す本発明の実施形態を参照して行うことができる。しかし、図面は、本発明の種々の実施形態だけを示し、したがって、他の有効な実施形態も含む可能性があるため、本発明の範囲を制限するものと考えられるべきでないことが留意される。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の実施形態による、非破壊評価のための自動化された3次元画像位置合わせを実施するシステムの略ブロック図である。

【図2A】本発明の実施形態による、レーザ超音波検査デバイスの略ブロック図である。

【図2B】本発明の実施形態による、レーザ超音波検査デバイスガントリまたはガントリによって保持される走査用ヘッドの斜視図である。

【図3】A～Cは、本発明の実施形態による、検査される部品の一連の斜視図である。

【図4】A～Cは、本発明の実施形態による、部品が図3A～3Cに示す位置にある状態での、走査プロセスによって生成される一連の2次元超音波画像である。

【図5】本発明の実施形態による、検査セル内への2つのビューを示すディスプレイフレームを提示するグラフィカルユーザインタフェースのスクリーンショットである。

【図6】本発明の実施形態による、動作中の部品位置ロケータの環境図である。

【図7】本発明の実施形態による、部品の3次元モデルの斜視図である。

【図8】本発明の実施形態による、部品のマルチビュースキャンによって生成される複数の非オーバーラップ範囲データセグメントを含む位置合わせを示すために、レンジデータと組合わされた図7に示すモデルの斜視図である。

【図9】本発明の実施形態による、登録されたモデルの表面上に「壁紙を貼った(wallpapered)」検査データを有する図8に示す位置合わせの斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

本発明は、ここで、本発明の実施形態を示す添付図面を参照して、以降でより完全に述べられる。しかし、本発明は、多くの異なる形態で具現化することができ、また、本明細書で述べる示す実施形態に限定されるものと解釈されるべきでない。むしろ、これらの実施形態は、本開示が徹底的でかつ完全であるように設けられ、当業者に本発明の範囲を完全に伝えることになる。全ての図面にわたって、同様の番号は同様の要素を指す。

【0019】

非破壊評価システムなどの種々のシステムは、大面積撮像デバイスを使用するかまたは採用しうる。こうしたシステムはまた、たとえば、作業セル内の部品を位置特定するために3次元スキャナを使用する。たとえば、3次元スキャナは、部品の表面上に幾何形状サンプルの点群(「点データ」)を生成しうる。こうした点データは、所与の環境内で部品の姿勢(「センサデータ」)を表しうる。点データは、通常、直接に利用されない。代わりに、画像位置合わせ技法を含む種々の技法は、システムが、撮像デバイスからの3次元データを、部品のコンピュータ支援設計(「CAD」)モデルに関連付けることを可能にする座標フレームを規定するのに使用される。システムは、その後、種々の視点からの超音波データをCADモデル上にマッピングし、オペレータが、指標を関連付け、スキャン範囲を評価するための3次元座標フレームを生成しうる。

【0020】

図1～9は、本発明の実施形態による、1つまたは複数の部品に対してモデルの3次元位置整合を実施するプログラム製品および改良型方法を含む、たとえば複合部品を走査するための例示的なレーザ超音波ベースの検査システム30を示す。おそらく図1に最もよく示されるように、システム30は、レーザ超音波検査デバイス31、部品位置ロケータ33、レーザ超音波検査コンピュータ35、エリアネットワーク37、レーザ超音波検査プログラム製品39、少なくとも1つのデータベース45に格納された各関心部品43用のコンピュータ支援設計(「CAD」)モデル41、および少なくとも1つのデータベース45に格納された検査セル49のモデル47を含み得、それらは各々、以下でより詳細に説明される。

10

【0021】

図2Aに示すように、レーザ超音波検査デバイス31のレーザ超音波光学部品は、部品43上のスキャン位置を示すポイントングレーザ51、加熱用レーザまたは他の超音波発生源53、走査用レーザ55、少なくとも1つであるが、好ましくは少なくとも2つの走査用ミラー57、および走査中に部品によって反射される位相変調光を収集し、それにより、表面変位を検出する干渉計または他の受光器59を含みうる。図2Bに示すように、種々のレーザ超音波光学部品は、たとえば、たとえば5つの自由度を有するガントリまたは走査用ヘッド61内に搭載されうる。こうした構成は、光学部品が、X、Y、およびZに配置され、垂直軸Cおよび水平軸Dの回りに回転することを可能にしうる。動作時、ガントリヘッド61は、走査用レーザ55が、たとえば、部品40から約60インチ(約152cm)離れたところに配置され、かつ、表面にほぼ垂直であるように移動されうる。こうした特定の構成によれば、走査技法は、たとえば、垂直から約±60°まで有効である。したがって、大きな部品に適用可能な1つの好ましい構成によれば、単一スキャンは、走査用ヘッド内に含まれる2つの走査用ミラーを移動させることによって、部品の6×6平方フィート(約15cm×15cm)の大きさの部分までカバーしうる。もちろん、異なる構成および異なるミラー配置は、異なる走査能力を提供しうる。

20

【0022】

上述の構成によれば、スキャン中に、ヘッド移動は必要とされないが、たとえば、遮蔽、範囲、および表面正常性の制約のために、所与の部品を完全に検査するために複数のガントリ位置が使用されてもよい。各スキャン(検査)動作のデータは、スキャンによってカバーされた部品43の部分についての検査データを示す2次元(2D)超音波画像を含む。生成される画像の全てを1つにすると、部品43に関して採取される完全な検査データが表される(図9を参照されたい)。超音波画像上の間隔は、各ピクセルが、レーザ源に垂直でかつ走査用ヘッドから一定距離に設置された基準平面上で一定間隔を示すように制御されうる。

30

【0023】

より従来的な検査技術に優るこの構成の利点は、スキャンのセットアップと切り替え再編成の容易さである。システム30は、部品表面に対する走査用レーザ55の広い入射角にわたって有用なデータを生成し、スキャンごとの部品43の配置の小さな変動を許容しうる。これは、部品43が、「軟質(soft)」工具を使用して検査セル49(図1)内にステージングされることを可能にする。こうした軟質工具は、主に、高価な取付け具または大幅な修正についての必要性無しで、部品がいつ正しく配置されたかについて視覚的キューを提供するために、一連のペグおよびポストが挿入されうる予め配置された穴を有する検査テーブル(図示せず)を含みうる。

40

【0024】

たとえばCADモデル上での実際の位置に対する超音波データを位置特定することは有用である。有利には、こうした位置特定は、検査プロセス中に発見された欠陥および部品特徴が、解析のためにモデルに戻されることを可能にする。その後、応力および歪計算が、部品性能および故障の可能性を予測するために使用されうる。さらに、欠陥が、複数の部品にわたって比較される、または、アズビルト/インサービスデータに対して比較され

50

うるように文脈に取り入れられうる。なおさらに、過小カバー範囲および過大カバー範囲が、容易に判定されうる。

【0025】

慣例的に、検査者に超音波画像が提示され、検査者は、これらの画像から、部品43の状態および任意の欠陥の場所を確定する。図3A~3Cは、検査セル49内における部品43の一連の3つのビューを示す。図4A~4Cは、図3A~3Cに示す位置にある部品43の走査過程によって生成された一連の超音波(データ)画像71を示す。超音波画像データを見て、走査された領域内の部品43の実際のカバー範囲を確認することは難しい。図4A~4Cに示す黒色セグメントが、構造が他のところより薄い領域を示すことに留意されたい。同様に、図4A~4Cに示す画像が、通常送出されるように垂直から180°の方に向いていることに留意されたい。

10

【0026】

図3Aおよび3Bに示す画像は、シーム73をカバーするように見えるが、オーバーラップ領域内のデータの質は明確でない。図3Aに示す画像が不必要である可能性がある(オーバースキャン)が、同様に、図3Aおよび3Bに示す画像だけが使用されるとき、シームが不完全にカバーされる(アンダースキャン)可能性がある。同様に、正確な欠陥位置は、近くの欠陥との間の相互作用を判定するため、モデリング解析を使用して成長および応力特性を解析するため、頻繁な欠陥ロケーションのアーカイブを維持するため、そして、アズビルトデータをインサービスデータと照合するために重要である。これらの解析は、当業者に知られているように、軟質工具と結合されると、より複雑になりうり、スキャンごとに画像の相対位置をシフトさせる可能性がある。

20

【0027】

検査者に対するデータの提示を改善し、欠陥の位置特定を改善するために、システム30は、スキャン/検査セル49内の部品43の姿勢に対する軟質工具の影響を把握し、コンピュータ可視化技法を使用して、基礎となるCADモデルの補正バージョン上に戻るように超音波データを再適用しうる。この改善された提示は、目下の提示の問題の多くを低減するかまたはなくし得、欠陥ロケーションが、モデリングおよび解析のために正確に確定されることを可能にし、また、スキャンのカバー範囲が、特定の部品姿勢について正確に確定され、測定されることを可能にする。有利には、超音波データの提示は、スキャンパラメータから分離され、自然でかつより効率的な方法で検査者に提示されうる。さらなる利点として、これらの同じ技法は、オーバースキャンを最小にししながら、全てのカバー範囲を提供するスキャンのセットを自動的に確定するように設計されたスキャンプランニングアプリケーションの基礎として使用されうる。方法は、本発明によれば、4つのステップ、すなわち、(1)ガントリ運動学特性および検査セル特徴をモデル化するステップ、(2)検査セル内の部品の位置を測定する(走査される部品の姿勢を規定する)ステップ、(3)CADモデルを姿勢に位置整合させるステップ、および(4)超音波データを再配置されたCADモデル上にマッピングするステップを含む。

30

【0028】

ガントリおよび検査セルのモデル化

【0029】

先に述べたように、モデルデータベース41は、ガントリ63のモデルが、その中で精密にモデル化され、動画化され、配置されうるスキャン/検査セル49の完全なモデル47を含みうる。これは、有利には、部品43のCADモデルがスキャン/検査セル49内に設置されることを可能にし、既存のスキャンプランが、既存のハードウェアインタフェースのモデルを使用して、シミュレートされ、表示され、解析されることを可能にして、規定されたスキャン位置に対するガントリヘッド61のワンタッチ配置を可能にしうる。この仮想環境は、有利には、オペレータが、スキャン/検査セル49にアクセスする必要なしに、モデルデータに関するオペレーションをシミュレートし、必要とされる前処理作業の多くを実行することを可能にしうる。仮想環境は、部品配置、スキャン解析、および可視化を提供し、自動化されたスキャンプランニングと改善された可視化効果の両方につい

40

50

ての基礎を形成しうる。図5は、検査セル49内への2つのビューを示すディスプレイフレーム83を提示するグラフィカルユーザインタフェース81のスクリーンショットを示す。上側パネルは、走査用レーザ55から見られるセル49を示し、一方、下側パネルは、セル49内の5つの規定された位置のうちの1つからのビューを示す。フィールドセクション85は、ガントリ位置を提供し、一方、フィールドセクション87は、ガントリ位置コントロールタブを提供する。グラフィカルユーザインタフェース81はまた、メニュー89内での種々の選択を含み、フレーム83の周りに配置されるように示される選択は、シミュレーションが制御されて修正されることを可能にする。グラフィカルユーザインタフェース81の表示されたフィールド内に表示可能な他のウィンドウは、スキャン制約（入射角、距離など）が満たされる部品43の領域を示し、部品配置を提供し、仮想スキャンオペレーションにとって有用な他のオペレーションを可能にすることができる。

10

【0030】

検査セル内での部品の位置の測定

【0031】

先に述べたように、軟質工具は、走査プロセス中に使用されて、システム30の可用性を改善し、新しい部品開発のコストを減少させ、スループットを増加させうる。システム30のユーザは、正しい位置整合のための視覚的キューを提供するために、たとえばベグおよびポストを有する単一光学テーブル（図示せず）上に、走査される部品43の全てをステージングしうる。こうした実施態様によれば、さらなる部品43を走査するために、新しい固定用ハードウェアは設けられる必要がない。光学テーブルを使用して新しい部品43をステージングすることは、「複製可能な(replicable)」部品姿勢を提供する穴のセットを選択することと同程度に簡単でありうる。残念ながら、この方法は、一般に、スキャンごとにまた部品ごとに、部品の位置または姿勢の真の複製を実現しない。したがって、CADモデル上に超音波画像71を精密に配置しようとする試みはいずれも、部品43の位置および姿勢を確定することを必要とし、また、それぞれの個々のスキャン（検査）データのセットについて、部品43のCADモデルを再配置することを必要とする。システム30の実施形態によれば、これを達成するために、レーザ超音波ガントリ63は、たとえば、構造化光レンジカメラ（たとえば、Sandi National Laboratoriesで開発された構造光(Structure light) (SL) ビジョンカメラ)などの部品位置ロケータ33によって強化されうる。

20

30

【0032】

おそらく図6に最もよく示されるように、好ましい構成では、部品位置ロケータ33は、レーザストライパの形態のレンジレーザ91、および、走査用レーザ55に対する部品43の距離を確定するノッチフィルタ付きカメラ93を含む。おそらくピクセルグラフ95に最もよく示されるように、この構成では、ノッチフィルタのために、カメラ93は、実質的に、レーザストライパ91によって部品43上に投影されたストライプ（ライン）の強度を見るだけである。この情報は、収集点における走査用レーザ55の位置の知識と組み合わせられて、部品位置における点群が提供される。この収集は、部品姿勢におけるセル49内の部品43を共に表すデータのセットを提供する多数の異なるガントリ位置で起こりうる。システム30の一実施形態によれば、部品位置ロケータ33は、点群を収集するために、メモリおよび独立したソフトウェアを含む。システム30の別の実施形態によれば、部品位置ロケータ33は、レーザ超音波検査プログラム製品39を介して、レーザ検査コンピュータ35に直接インタフェースする、かつ/または、レーザ検査コンピュータ35によって制御される。

40

【0033】

データの精度が重要である。したがって、レンジレーザ91およびカメラ93が較正されて、レンズ作用、カメラの像平面の位置整合不良、および他のカメラの固有要因などの固有の歪が除去されると共に、互いに対して、また、レーザ超音波ガントリ63に対してカメラおよびレーザの姿勢が確定されうる。システム30の一実施形態によれば、較正手順を用いることができ、較正手順は、たとえば、カメラ93のパンおよびチルト設定を変

50

更することによって、または、ガントリヘッド61を移動させ、次に、カメラ画像と物理的世界における固定された既知の位置との間の対応を見出す(部品位置ロケータ33の座標系を、検査セル49の座標系に関連付けるか、または、その他の方法で変換する)ことによって、シーン内の異なる位置に部品位置ロケータ33を向けることができる。2ステージ較正手順を利用することができ、2ステージ較正手順は、第1に、たとえばテクスチャカメラ(図示せず)を使用して、部品位置ロケータ33の固有要因および互いに対する部品位置ロケータコンポーネントの姿勢を較正し、第2に、画像処理技法を使用してターゲット中心を確定して、走査用レーザ55に関するテクスチャカメラの姿勢を較正し/確定し、それにより、カメラ93までの3次元距離を確定して、部品43の表面に沿う3次元点を与える。こうした方法は、たとえば、参照によりその全体が本明細書に組込まれる、Turner等著「Using Computer Vision to Map Laser Ultrasound onto CAD Geometries」Review of Quantitative Nondestructive Evaluation, 22, American Institute of Physics (2003)に一般に記載される。

10

【0034】

部品の姿勢に対するCADモデルの位置整合

【0035】

プロセスのこの時点で、システム30は、ガントリの動きを動画化する能力をによって検査セル49の精密なモデル47に、データベース45に格納された複数のモデル41の部品43(図7)の精密な特定のCADモデル101、および、検査セル49内でその真の姿勢状態にある部品43上の(先に確定された)点を表すデータの点群にアクセスできる。次のステップは、CADモデル101が、収集された点データに正しく一致するように、CADモデル101を移動させること(位置合わせと呼ばれる)である。こうした位置合わせの最終的な結果は、図8に示されており、部品43のより完全な11のビューキャンによって生成された複数(たとえば、57)の非オーバーラップセグメントを示す。このステップ/オペレーション(一連のステップ/オペレーション)は、部品43がその上でステージングされるテーブルなどの検査セル49内の他の表面、走査/検査セル49の壁に対応する点(ひとまとめに、異常値)を含む可能性がある収集されたレンジデータの性質、遮蔽または視野制限のために、走査される部品43を完全にカバーしない可能性があるデータ(ひとまとめに、抜けているデータ)、およびシステムノイズ(すなわち、レンジデータの統計的精度の誤差)などによって複雑で困難になる。

20

30

【0036】

有利には、レーザ超音波検査コンピュータ35のメモリ111に格納されたレーザ超音波検査プログラム製品39は、コンピュータ35のプロセッサ113によって実行されると、その被測定姿勢において収集された部品データに対して、各部品43のモデルの位置整合を実施するオペレーションを、コンピュータ35に実施させる命令を含むことができる。メモリ111は、単にいくつかの例であるが、たとえば、RAM、ROM、および磁気ディスク、または、光ディスクを含む、当業者に知られている揮発性および不揮発性メモリを含みうることに留意されたい。プログラム製品39は、当業者によって知られ理解されるように、ハードウェアの機能実行を制御し、そのオペレーションを指令する順序付けられたオペレーションのセットのために特定のセットを提供する、マイクロコード、プログラム、ルーチン、および記号言語の形態でありうる。プログラム製品39は、本発明の実施形態によれば、その全体が揮発性メモリ内に存在する必要はなく、当業者によって知られ理解される種々の方法に従って、必要に応じて、選択的にロードされうることに同様に留意されたい。

40

【0037】

システム30、プログラム製品39、および方法のある実施形態によれば、オペレータは、最初に、検査される部品43について取得されたCADモデル101およびレンジデータ(たとえば、データの点群)を、レーザ超音波検査プログラム製品39の部品配置グ

50

グラフィカルユーザインタフェースにロードする。システム 30、プログラム製品 39、および方法の別の実施形態によれば、オペレータは、データベース 45 に格納された複数のモデル 41 から、部品 43 用の CAD モデル 101 を選択し、また、自動的に受信されない場合、使用されるレンジデータを選択する。相応して、レーザ超音波検査プログラム製品 39 は、部品 43 の 3 次元モデル 101 を受信し、データの点群を受信する。オペレータは、入力デバイス（たとえば、マウス、トラックボール、タッチスクリーンなど）を使用して、モデル 101 との対応して、「近く(close)」なるように部品 43 を、手作業でグラフィカルに移動させる。この最初の位置整合は、非常に大雑把であるがそれでも、位置合わせプロセスの初期反復が、適度の開始点を有することを保証するのに役立つ。この初期位置整合後に、レーザ超音波検査プログラム製品 39 の部品配置部分が、さらに

10

オペレータとやりとりすることなく、点群および CAD モデル 101 に対して実行される。有利には、おそらく図 8 に最もよく示されるように、この位置合わせは、部品を表す点群における異常値の存在および抜けているデータとは無関係に、ロバストで良好な一致を生成する。

【0038】

レーザ超音波検査プログラム製品 39 のある実施形態によれば、こうした位置合わせプロセスを実施するために、レーザ超音波検査プログラム製品 39 は、レーザ超音波検査コンピュータ 35 によって実行されると、モデル 101 ソースとして、およびデータ群（レンジセンサデータ）ターゲットとして用いて、繰り返し最近点アルゴリズムを実行するオペレーションを、コンピュータ 35 に実施させる命令を含む。この段階の出力は、変換「

20

T1」およびセンサデータ「S1」からの点のセットである。この点のセットは、ソース点に対して生成された対応点である、すなわち、それらは、繰り返し最近点アルゴリズムによって計算されたモデル 101 内の点に最も近い、レンジセンサデータ内の点のセットである。オペレーションは、次に、今度は、レンジセンサデータからの点のセット「S1」をソースとして、モデルデータをターゲットとして使用して、再び繰り返し最近点アルゴリズムを実行することを含む。この段階の出力は、変換「T2」である。オペレーションは、次に、位置合わせを規定する、変換 T1 の変換 T2 との逆変換との結合体を確定することを含む。プログラム製品 39 のこの実施形態によれば、繰り返し最近点アルゴリズムの最初のパスは、レンジセンサデータに対するモデル 101 の大雑把な位置合わせを提供すると共に、モデル 101 上の実際の点に対応する高い確率を有するレンジセンサデータ内の点のセットを特定する。第 2 のパスは、モデル 101 に対して特定された高い確率の点を位置合わせする。上記オペレーションから得られる変換は、第 1 のパスによって特定された変換の、第 2 のパスによって特定された変換との結合である。

30

【0039】

再配置された CAD モデル上への超音波データのマッピング

【0040】

おそらく図 9 に最もよく示されるように、レーザ超音波検査プログラム製品 39 の実施形態によれば、オペレーションは、さらに、CAD モデル 101 に関する超音波センサデータの関連付けを完成させるために、たとえば、図 4A ~ 4C に示すように、採取された超音波センサデータを、部品姿勢におけるモデル 101 にマッピングすること / 再マッピング

40

することを含む。これは、たとえば、可視化ツール（図示せず）を使用して超音波データをテクスチャとして部品上に投影することによって達成されうる。オペレーションは、CAD モデル 101 上にユーザが配置したいと思う全ての超音波データについて、シーン内にモデルの新しいインスタスを生成することを含む。Turner 等は、一般に、こうしたオペレーションを実施する例示的な方法を説明している。

【0041】

本発明は完全に機能するシステムの文脈で説明されたが、本発明の少なくとも複数の部分のメカニズムおよび / またはその態様が、1つのプロセッサ、複数のプロセッサなどの上で実行される種々の形態の命令のコンピュータ読取り可能媒体の形態で分配されることが可能であること、および、本発明が、その分配を実際に行うのに使用される特定の

50

信号保持媒体のタイプにかかわらず、等しく適用されることを、当業者は理解するであろう。コンピュータ読取り可能媒体の例は、読取り専用メモリ（ROM）、CD-ROM、およびDVD-ROMまたは消去可能な電氣的にプログラム可能な読取り専用メモリ（EEPROM）などの不揮発性ハードコードドタイプの媒体、フロッピーディスク、ハードディスクドライブ、CD-R/RW、DVD-RAM、DVD-R/RW、DVD+R/RW、フラッシュドライブ、および他の新しいタイプのメモリなどの記録可能なタイプの媒体、ならびに、デジタルおよびアナログ通信リンクなどの伝送タイプの媒体を含むが、それに限定されない。たとえば、こうした媒体は、上述したレーザ超音波検査プログラム製品39および方法ステップに関連するオペレーティング命令とオペレーション命令の両方を含むうる。

10

【0042】

本発明の実施形態は、いくつかの利点を含む。たとえば、本発明の実施形態は、修正することなく（たとえば、アドホックフィルタリングを行うことなく）、関心エリアを特定することなく、そして、モデルとレンジデータとの間の対応点を指定することなく、すなわち、初期の点の対応を手作業によって特定することなく、ノイズを有するセンサデータをそのまま使用して、モデルに対するセンサ（レンジ）データの位置合わせを可能にするのに十分にロバストである。本発明の実施形態は、モデルおよびセンサデータ上で自動的に実行され、かつ、センサデータに対するモデルの位置合わせを表す最終変換を生成するアルゴリズムを採用する。本発明の実施形態は、モデルおよびセンサデータのセットを採取すること、および、センサデータに関して正しい位置の近くにモデルデータを最初に手作業でグラフィカルに配置すること、または、その逆を行うこと以上のことはほとんど要求しない、こうした自動化された位置合わせを実施する。本発明の実施形態は、第2のパスにおいてソースとターゲットを交換する、繰り返し最近点アルゴリズムの2つのパスを提供する繰り返し最近点アルゴリズムの変形を採用することによって自動位置合わせを実施し、それにより、ノイズを有する、または不完全なセンサデータの影響を打消すのに役立つ。

20

【0043】

本出願は、それぞれが参照によりその全体を本明細書に組込まれる、「System, Program Product, and Related Methods for Registering Three-Dimensional Models to Point Data Representing the Pose of a Part」という名称の、2008年8月29日出願された米国仮特許出願第12/202,016号、および、「System, Program Product, and Related Methods for Registering Three-Dimensional Models to Point Data Representing the Pose of a Part」という名称の、2008年3月29日出願された米国仮特許出願第61/040,415号に関連する。

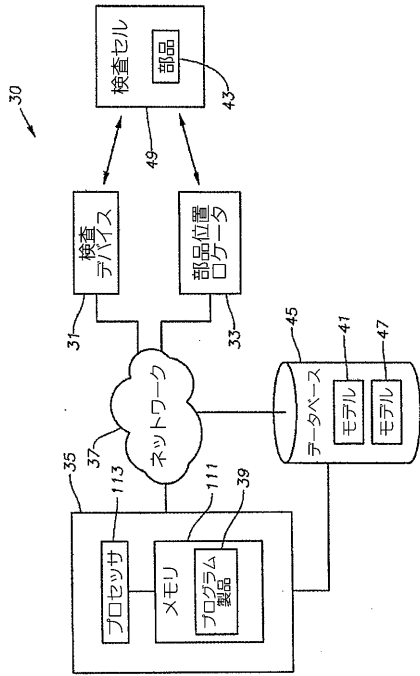
30

【0044】

図面および仕様において、本発明の典型的な好ましい実施形態が開示されており、特定の用語が採用されるが、用語は、制限するためではなく、記述する意味で使用される。本発明は、これらの示された実施形態を特に参照してかなり詳細に述べられた。しかし、先の仕様に述べられた本発明の趣旨および範囲内で、種々の修正および変更が行われうるということが明らかになるであろう。たとえば、本発明の種々の実施形態に従って採用される技法は、検査データを生成するためにレーザ法、非レーザ法、または両方の方法を利用する、種々の非破壊評価アプリケーション、形状検査アプリケーション、および汎用的なナビゲーション/マニピュレーションアプリケーションのために使用されうる。したがって、当業者は、種々のアプリケーションに対する本発明の種々の実施形態の適用可能性を認識するであろう。

40

【 図 1 】



【 図 2 A 】

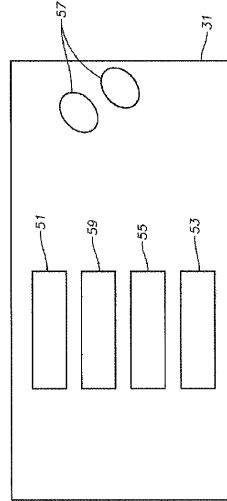


Fig. 2A

【 図 2 B 】

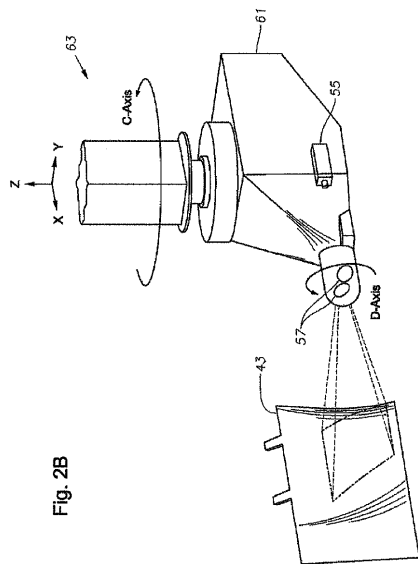


Fig. 2B

【 図 3 A 】

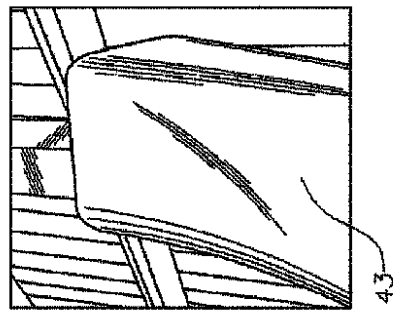


Fig. 3A

【 図 3 B 】

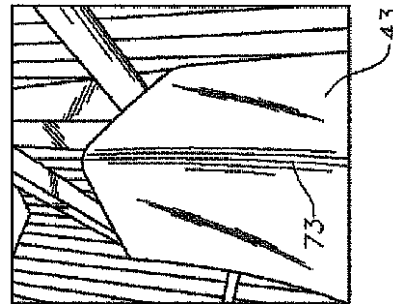
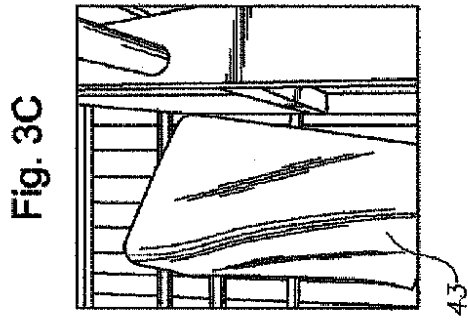
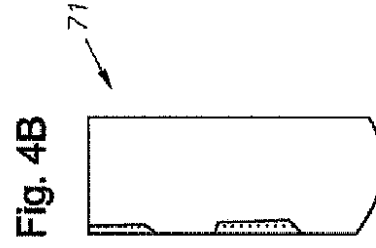


Fig. 3B

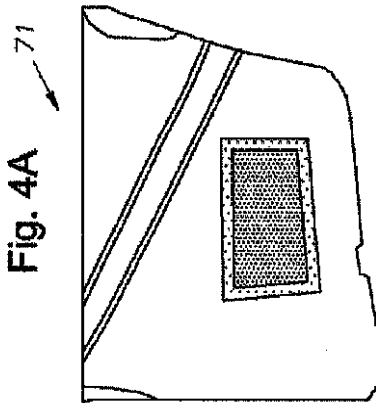
【図3C】



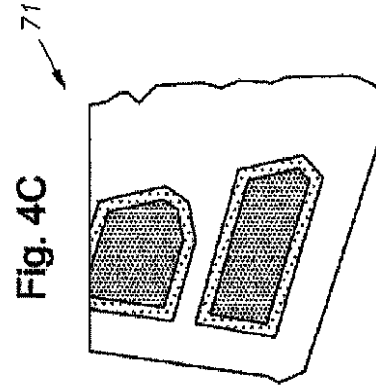
【図4B】



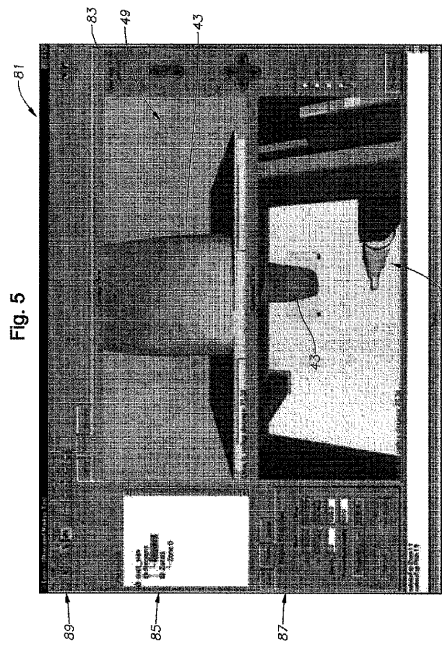
【図4A】



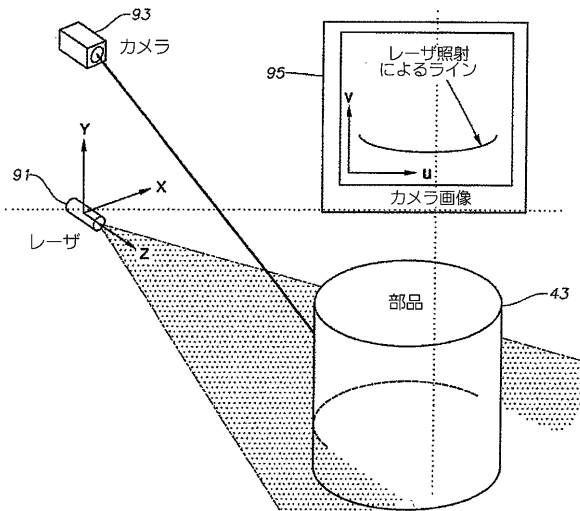
【図4C】



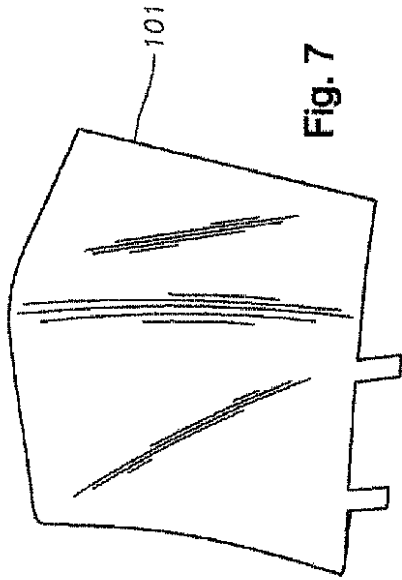
【図5】



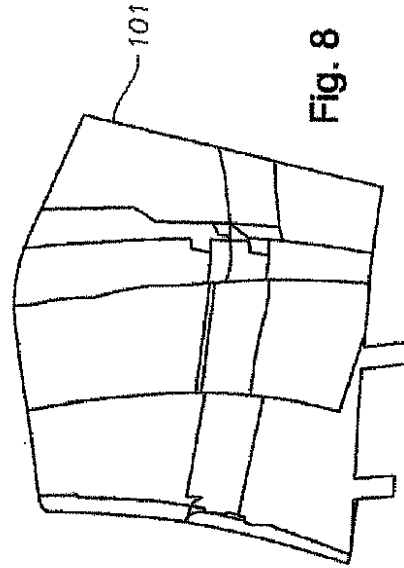
【図6】



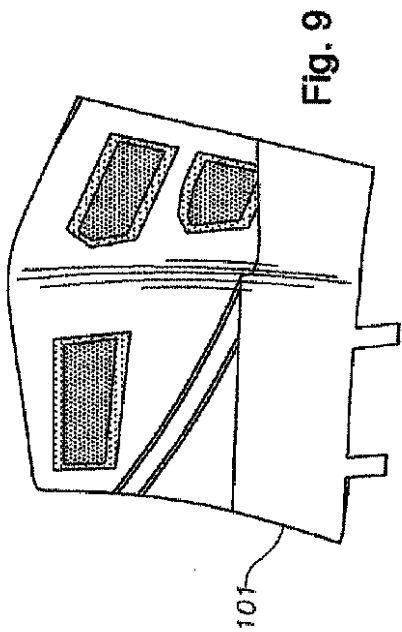
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

- (74)代理人 100154829
弁理士 小池 成
- (74)代理人 100080137
弁理士 千葉 昭男
- (72)発明者 ミラー, ジェームズ
アメリカ合衆国ニューヨーク州クリフトン・パーク, ボノー・ロード 8
- (72)発明者 ターナー, ウェズリー
アメリカ合衆国ニューヨーク州レックスフォード, ブルー・ジェイ・ウェイ 18
- (72)発明者 ローレンセン, ウィリアム
アメリカ合衆国ニューヨーク州ボールストン・パーク, ハースサイド・ドライブ 14

審査官 田中 洋介

- (56)参考文献 特開2002-005899(JP, A)
特開2001-082951(JP, A)
特表2004-504610(JP, A)
特開平06-102258(JP, A)
国際公開第2007/069724(WO, A1)
複雑形状体の超音波探傷システムの開発, 技術開発ニュース 中部電力(株), 日本, 中部電力(株), 1995年, No.63, Page.9-10
平澤 英幸 松井 啓年, 第2回複雑構造物への3次元超音波探傷技術の実用化, 検査技術, 日本, 日本工業出版, 1999年12月, Vol.4, No.12, Page.30-33
W.Turner et al., USING COMPUTER VISION TO MAP LASER ULTRASOUND ONTO CAD GEOMETRIES, AIP Conference Proceedings, 2003年, Vol.657, pp.340-347

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 29/00 - 29/52
G01B 11/00 - 11/30
A61B 8/00 - 8/15
JSTPlus(JDreamIII)
JST7580(JDreamIII)
JMEDPlus(JDreamIII)