

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2011-523048

(P2011-523048A)

(43) 公表日 平成23年8月4日(2011.8.4)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>GO 1 N 29/00 (2006.01)</b>	GO 1 N 29/00 5 O 1	2 F O 6 5
<b>GO 1 B 11/24 (2006.01)</b>	GO 1 B 11/24 K	2 G O 4 7
<b>GO 1 B 11/25 (2006.01)</b>	GO 1 B 11/25 H	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2011-509688 (P2011-509688)	(71) 出願人	596134851 ロッキード・マーチン・コーポレーション アメリカ合衆国、メリーランド州 208 17、ベセスダ、ロックレッジ・ドライブ 6801
(86) (22) 出願日	平成21年5月14日 (2009.5.14)	(74) 代理人	100140109 弁理士 小野 新次郎
(85) 翻訳文提出日	平成23年1月13日 (2011.1.13)	(74) 代理人	100075270 弁理士 小林 泰
(86) 国際出願番号	PCT/US2009/043902	(74) 代理人	100080137 弁理士 千葉 昭男
(87) 国際公開番号	W02009/140465	(74) 代理人	100096013 弁理士 富田 博行
(87) 国際公開日	平成21年11月19日 (2009.11.19)	(74) 代理人	100096068 弁理士 大塚 住江
(31) 優先権主張番号	12/122, 119		
(32) 優先日	平成20年5月16日 (2008.5.16)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波データをCAD空間にマッピングするための視覚システムおよび方法

(57) 【要約】

複合材料の解析のためのシステムおよび方法である。複合材料のレーザー超音波測定を、複合物品の形状および位置と相関付けられる。

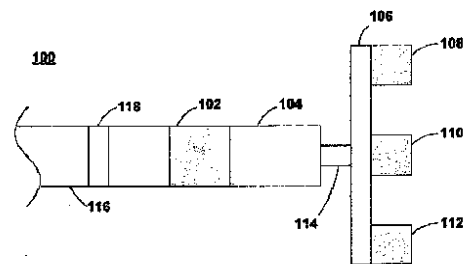


Figure 1

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

物品を分析する方法であって、

前記物品を構造化光システムによって走査して物品の三次元情報を得るステップと、  
レーザービームを前記物品の表面に方向付けて超音波表面変位を発生させるステップと

、

前記超音波表面変位を検出するステップと、

物品の三次元情報を前記超音波表面変位と相関付けるステップと、

物品の三次元情報を既知のデータセットと比較するステップと、

前記超音波表面変位データを処理するステップと、

前記既知のデータセットと前記処理された超音波表面変位とを相関付けて、前記超音波表面変位データに関する座標測定を提供するステップと、  
を含む、方法。

10

**【請求項 2】**

レーザー超音波評価のために前記物品を位置決めすることをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 3】**

前記構造化光システムにより前記物品を走査することにより、前記物品の三次元データが得られる、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 4】**

前記物品は複合材料を含む、請求項 1 に記載の方法。

20

**【請求項 5】**

前記物品を構造化光システムによって走査することは、

少なくとも 1 つのカメラと、光線生成要素と、構造化光装置を移動させる手段とを備える構造化光装置を提供することと、

前記物品の前記表面上に光線を発射することと、

前記物品の前記表面上に発射されている前記光線の画像を受信するように前記カメラを動作させることと、

前記物品の前記表面全体が測定されるまで、前記構造化光装置を次の位置に移動させることと、

30

を含む、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 6】**

前記物品の前記表面における超音波表面変位を検出するステップは、

前記物品の前記表面において超音波変位を発生させることと、

検出用レーザービームを生成することと、

前記検出用レーザービームを前記物品の前記表面に方向付けることと、

前記物品の前記超音波表面変位により前記検出用レーザービームを散乱させて、位相変調光を発生させることと、

前記位相変調光を処理して、前記表面における前記超音波表面変位に関連するデータを得ることと、

40

前記データを収集して、前記物品の構造に関する情報を提供することと、  
を含む、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 7】**

前記既知のデータセットは CAD データである、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 8】**

前記物品の寸法を測定する前に前記構造化光システムを較正することをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 9】**

前記物品は航空機部品である、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 10】**

50

前記物品は航空機である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 1】

三次元対象物のレーザー超音波測定および位置データを相関付けるための装置であって、

多関節ロボットアームであって、前記アームは、

構造化光システムであって、前記構造化光システムは光源および光検出手段を含む、構造化光システムと、

レーザー超音波システムであって、前記レーザー超音波システムは、物品の表面上に超音波振動を発生させるレーザーと、前記超音波振動を検出する手段と、前記検出信号を収集する手段とを備える、レーザー超音波システムと、

を備える、多関節ロボットアームと、

中央処理装置と、

運動制御システムと、

を備え、

前記構造化光システムは、パンチルトユニットにより、前記多関節ロボットアームに連結される、

装置。

【請求項 1 2】

前記構造化光システム光検出手段は電荷結合素子を含む、請求項 1 1 に記載の装置。

【請求項 1 3】

前記装置は可搬型である、請求項 1 1 に記載の装置。

【請求項 1 4】

前記中央処理装置は、前記構造化光測定を処理し、前記物品に関連する三次元情報を提供するように構成される、請求項 1 1 に記載の装置。

【請求項 1 5】

前記中央処理装置は、前記物品三次元情報と、前記物品の前記表面上の前記超音波振動とを相関付けるように構成される、請求項 1 4 に記載の装置。

【請求項 1 6】

就航中の航空機部品を評価する方法であって、

製作したままの航空機部品を構造化光システムによって走査して、物品の三次元情報を得ることと、

前記製作したままの航空機部品の表面にレーザービームを方向付けて、超音波表面変位を発生させることと、

前記超音波表面変位を検出することと、

前記製作したままの航空機部品の三次元情報を、前記超音波表面変位と相関付けることと、

前記製作したままの航空機部品の三次元情報を、既知のデータセットと比較することと、

前記超音波表面変位データを処理することと、

前記既知のデータセットと前記処理された超音波表面変位とを相関付けて、前記製作したままの航空機部品の前記超音波表面変位データに関する座標測定を提供することと、

前記製作したままの航空機部品の三次元情報と、前記超音波表面変位データとを保存することと、

前記製作したままの航空機部品を航空機に取り付けることと、

前記取り付けられた航空機部品を構造化光システムによって走査して、物品の三次元情報を得ることと、

前記取り付けられた航空機部品の表面にレーザービームを方向付けて、超音波表面変位を発生させることと、

前記超音波表面変位を検出することと、

前記取り付けられた航空機部品の三次元情報を、前記超音波表面変位と相関付けること

10

20

30

40

50

と、

前記超音波表面変位データを処理することと、

前記既知のデータセットと前記処理された超音波表面変位とを相関付けて、前記超音波表面変位データに関する座標測定を得ることと、

前記取り付けられた航空機部品の三次元情報および処理された超音波表面変位データと、前記製作したままの航空機部品の三次元情報および処理された超音波表面変位データとを比較することと、

を含む、方法。

【請求項 17】

前記航空機部品の前記評価は、層間剥離、亀裂、混入物、解体およびこれらの組み合わせからなる群から選択された欠陥の特定を含む、請求項 16 に記載の方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、概して複合材料の測定のための非破壊技術の分野に関する。詳細には、本発明は、位置データを超音波データと相関付けるための方法およびシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、航空宇宙および他の民間産業における複合材料の利用が増加している。複合材料を用いれば性能の大幅な向上が可能になるものの、複合材料の製造は複雑であるため、製造時において厳密な品質制御手順が必要となる。複合構造中の欠陥の特定（例えば、混入物、層間剥離および多孔性の検出）の方法として、非破壊評価（「NDE」）技術が開発されている。一般的に従来のNDE方法は、低速であり、労力がかかりかつ高コストである。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不利に増加させてしまう。

20

【0003】

一様でない表面を有する部品の場合、測定データを位置データと相関付けると好ましい。このような部品の場合、当該部品の形状を決定することが、測定と部品上の位置との間の相関付けにおける鍵となる。先行技術による一様でない形状を有する複合部品を走査するための方法の場合、走査されている部品をテーブル上に配置し、既知の位置に固定することで、走査用の開始基準点を得ていた。走査対象物が大型でありかつ/または一様でない形状の物体である場合、部品を配置するためのテーブルまたは他の手段が高価となり、また、1つの部品にしか使うことができないことが往々にしてある。

30

【0004】

先行技術による方法によれば、複雑な形状の部品を走査するには、いくつかの異なる姿勢または視野から走査を数回行わなければならなかった。しかし、これらの方法の場合、いくつかの欠点があった。すなわち、ある部品を複数回走査した場合、当該部品上の隣接位置についてのコンテキストが失われる。その結果、複雑な形状にわたってまたは2つ以上の部品から構成される対象物の走査の場合に隣接部品にわたって当該部品が過剰走査または過小走査されているかを判定することが困難になる可能性がある。さらに、先行技術の場合、当該部品上のレーザー超音波データの位置特定もおろそかになる。そのため、走査されている部品上の位置に相関付けられた複合材料のレーザー超音波データを提供する方法および装置が必要とされている。

40

【発明の概要】

【0005】

対象物の形状を決定するための非接触型方法および装置と、前記対象物のレーザー超音波測定を相関付ける方法とが提供される。

本発明の一面において、レーザー超音波データを物品の位置データに相関付ける方法が提供される。前記方法は、(a)レーザー超音波評価のために物品を配置するステップと、(b)前記物品の寸法を構造化光システムによって測定するステップと、(c)前記

50

物品の表面の超音波表面変位を検出するステップと、(d)前記物品の寸法と、前記超音波表面変位とを相関付けるステップと、(e)前記物品の寸法を既知のデータセットと比較するステップと、(f)前記超音波表面変位を処理するステップと、(g)前記既知のデータセットと、前記処理された超音波表面変位とを相関付けるステップとを含む。特定の好適な実施形態において、前記物品は複合材料である。

【0006】

特定の実施形態において、前記物品の寸法を測定するステップは、構造化光装置を提供することを含む。前記構造化光装置は、少なくとも1つのカメラと、光線生成要素と、前記装置を移動させる手段とを含む。前記物品の表面上に光線を発射する。前記物品の表面上に発射されている前記光線の画像を受信するように、前記カメラを操作する。その後、前記装置を次の場所へと移動させ、前記物品の表面全体を測定し終えるまで、走査を繰り返す。

10

【0007】

特定の実施形態において、前記物品の表面における超音波表面変位を検出するステップは、前記物品の表面において超音波変位を発生させることと、検出用レーザービームを生成することと、前記検出用レーザービームを前記物品の表面に方向付けることと、前記物品の前記超音波表面変位により前記検出用レーザービームを散乱させて、位相変調光を生成することと、前記位相変調光を処理して、前記表面における前記超音波表面変位に関連するデータを得ることと、前記データを収集して、前記物品の構造に関する情報を提供することとを含む。

20

【0008】

別の態様において、就航中の航空機部品を評価する方法が提供される。前記方法は、製作したままの航空機部品を構造化光システムによって走査して、物品三次元情報を得るステップを含む。前記製作したままの航空機部品の表面にレーザービームを方向付けて、後で検出される超音波表面変位を生成する。前記製作したままの航空機部品の三次元情報を、前記超音波表面変位と相関付ける。前記製作したままの航空機部品の前記三次元情報を、既知のデータセットと比較する。前記超音波表面変位データを処理し、前記既知のデータセットと相関付けて、前記製作したままの航空機部品の前記超音波表面変位データの座標測定を得る。その後、前記製作したままの航空機部品の前記三次元情報および前記超音波表面変位データをコンピュータメモリなどに保存する。前記製作したままの航空機部品を、航空機に取り付ける。後の何らかの時点において、前記取り付けられた航空機部品を構造化光システムで走査して、物品三次元情報を得る。前記取り付けられた航空機部品にレーザービームを方向付けて、超音波表面変位を発生させる。その後、前記超音波表面変位を検出する。前記取り付けられた航空機部品の前記三次元情報を、前記超音波表面変位と相関付ける。前記超音波表面変位データを処理し、前記既知のデータセットと相関付けて、前記超音波表面変位データの座標測定を得る。前記取り付けられた航空機部品の前記三次元情報および処理された超音波表面変位データを、前記製作したままの航空機部品の前記三次元情報および処理された超音波表面変位データと比較する。

30

【0009】

別の態様において、三次元対象物のレーザー超音波測定および位置データを相関付ける装置が提供される。前記装置は、多関節ロボットアームを含む。前記多関節ロボットアームは、構造化光システムおよびレーザー超音波システムを含む。前記構造化光システムは、光源および光検出手段を含む。前記レーザー超音波システムは、物品の表面上のレーザー生成超音波振動と、前記超音波振動を検出する手段と、前記検出信号を収集する手段とを含む。前記装置は中央処理装置および運動制御システムも含み、前記構造化光システムは、パンチルトユニットにより、前記多関節ロボットアームに連結される。

40

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】物品のレーザー超音波測定および三次元測定を提供する装置の例示的实施形態の模式図である。

50

【図 2】本発明の一実施形態による論理フロー図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

図面および以下の説明において、明細書および図面全体における類似の部品をそれぞれ同一の参照符号で示す。図面は必ずしも原寸に比例していない。本発明の特定の特徴を縮尺を大きくしたりまたは若干模式的に図示している場合があり、明確さおよび正確さのために、従来の要素の一部詳細を図示していない場合もある。本発明は、異なる形態の実施形態が可能である。特定の実施形態について詳細に説明し、図面中に図示するが、本開示は本発明の原理の例示としてみなされるべきであり、本明細書中に図示および記載されている範囲に本発明を限定することを意図していないことが理解されるべきである。以下に説明する実施形態の異なる教示内容を個別にまたは任意の適切な組み合わせで用いて、所望の結果を得ることが可能であることが完全に認識されるべきである。当業者にとって、以下の実施形態の詳細な説明を読み、添付図面を参照すれば、上記した多様な特性ならびに以下に詳細に説明する他の特徴および特性が容易に明らかとなる。

10

【0012】

本明細書に記載されるのは、複合材料を含む対象物の形状を決定するための非接触型方法および装置と、前記対象物のレーザー超音波測定を相関付ける方法とである。

#### 構造化光

構造化光は、3D複合材料のマッピングのための1つの例示的な非接触型技術であり、光パターン（例えば、平面、グリッドまたは他のより複雑な形状）を既知の角度で対象物上に発射することを含む。この技術は、寸法情報の画像化および取得において、有用である。

20

【0013】

構造化光システムの場合、光パターンは典型的には、光線を扇状に広げさせる、すなわち拡散させることにより板状の光にすることにより、生成される。前記板状の光が対象物と交差すると、前記対象物の表面上に明るい光を見ることができ、前記板状の光をある角度（典型的には、入射レーザー光の角度と異なる検出角度）から観測することにより、前記線の歪みを、観察している対象物の高さ変動に変換することができる。複数のビュー（姿勢と呼ばれることが多い）の走査を組み合わせることで、対象物全体の形状を得ることができる。対象物を光で走査することにより、対象物の形状に関する3D情報を得ることが可能になり、前記3D情報は、対象物に関する絶対座標および形状データを含む。これをアクティブ三角測量と呼ぶ場合がある。

30

【0014】

構造化光を用いれば、対象物の形状を決定することが可能になるため、構造化光は、ある環境内の対象物の認識および位置特定においても有用である。このような特徴のため、プロセス制御または品質管理を実施している組み立てラインにおいて構造化光を使用すると有用である。対象物を走査して物品の形状を得ることができ、その後、この形状をアーカイブデータと比較することができる。この有利点により、組み立てラインをさらに自動化することが可能になり、これにより全体的コストを概して低減することができる。

【0015】

対象物上に発射された光線は、カメラまたは類似の手段によって観測することができる。例示的な光検出手段を挙げると、CCDカメラなどがある。多様な異なる光源を走査源として用いることが可能であるが、精度および信頼性の面からレーザーが好適である。

40

【0016】

構造化光3Dスキャナから対象物上に光パターンが発射され、前記対象物上のパターンの変形を観察する。前記パターンは、一次元または二次元であり得る。一次元パターンの一例として、線が挙げられる。LCD投影器またはスウィーピングレーザーのいずれかを用いて、対象物上に線を発射する。カメラなどの検出手段により、前記線の形状を観察し、三角測量と同様の技術を用いて、前記線上の各点の距離を計算する。単一線によるパターンの場合、前記線を視野にわたってスウィープさせて、距離情報を一度に一本ずつ収集する

50

。

#### 【0017】

構造化光3Dスキャナの1つの有利点として、速度がある。構造化光スキャナでは、一度に1点ずつ走査する代わりに、複数の点または視野全体を一度に走査する。その結果、走査運動からの歪の問題が低減または解消される。いくつかの既存のシステムにおいて、動いている対象物をリアルタイムで走査することが可能である。

#### 【0018】

特定の実施形態において、構造化光システム検出カメラは、特定の波長（例えば、走査用レーザーの波長）のみに対応する光を通過させるように設計されたフィルタを含む。前記検出カメラは、光画像を検出および記録し、多様なアルゴリズムを用いて、前記画像に

10

#### 【0019】

前記構造化光システムはまた、テクスチャカメラとして知られる第2のカメラも含むことができる。このカメラは、対象物のフル画像を提供するように、動作することができる。

#### 【0020】

先行技術による校正技術を挙げると、ツールテーブルの周囲の多様な場所に配置された一連の標的の使用がある。

好適な実施形態において、対象物または部品の走査を最適に行う方法を決定する（例えば、各走査を完了するのに必要な「ビュー」または「姿勢」の数を最適化（すなわち、最少化を使用して）することで、走査の重複を最小化し、後続走査を再構築する必要性を最小化する）。特定の実施形態において、姿勢の数を測定データに応じて最適化することができる。特定の他の実施形態において、最少数の姿勢をCADデータの観点から決定することができる。さらに他の実施形態において、対象物を走査する前にCADデータを分析して、対象物または部品の表面全体を走査するために必要な走査の最少数を決定することができる。

20

#### 【0021】

特定の実施形態において、前記構造化光システムは、一連のデータ点を提供して、対象物の形状に対応するポイント雲および走査されている対象物または部品の特定のビューを生成する。その後、各ビューまたは姿勢に対するポイント雲をマージして、対象物または部品全体の複合ポイント雲を組み立てることができる。その後、個々のポイント雲データを特定のセル座標システムに変換することができる。

30

#### 【0022】

測定された各部品の姿勢を組み立てて部品全体のポイント雲を提供し、前記部品の相対座標を決定した後、前記部品に対応するデータセットを登録することができる。前記部品に対応するデータセットを登録することで、前記部品の全座標点を得ることができ、このデータを空間内において操作し、これにより、後続走査において同一部品を容易に特定することが可能になる。部品を登録した後は、後続走査を前回の走査または確認済のCADデータと比較することにより、類似部品をより容易に特定および確認することができる。登録された走査を収集して、データベースを提供することができる。

40

#### 【0023】

##### レーザー超音波

レーザー超音波は、固形物を分析してデータ（例えば、欠陥の存在など）を得るための非破壊評価技術である。詳細には、レーザー超音波は非破壊型の非接触型分析技術であるため、壊れやすいサンプルおよび複雑な幾何学形状のサンプルにも用いることが可能である。さらに、レーザー超音波を用いれば、大型の対象物の性質を測定することも可能である。

#### 【0024】

レーザー超音波において、パルス状レーザー照射に起因して、分析されている表面上に

50

熱膨張および収縮が発生し、これにより、当該材料内に応力波が発生する。これらの波により、材料表面上に変位が発生する。前記変位において測定可能な変化が記録された場合、欠陥が検出される。

【0025】

超音波レーザー検出は多様な方法で行うことが可能であり、これらの技術は常に改善および開発が進んでいる。当該問題に関する知識および多様な種類のレーザー検出器がどのようなことができるかについての理解が要求されるので、使用にあたって一般的に最適な方法というものはない。一般的に用いられるレーザー検出器は、干渉検出（ファブリペロー、マイケルソン、時間遅延、振動記録計など）と、振幅変動検出（例えば、ナイフエッジ検出器）との2種類に分類される。

10

【0026】

レーザー超音波は、複合材料製の対象物を調査するための1つの例示的方法である。一般的には、該方法は、パルス生成レーザーによって複合物の一部を照射することにより、複合物表面上に超音波振動を発生させることを含む。検出用レーザービームを振動している表面に方向付け、散乱させ、反射させ、そして表面振動によって位相変調させ、これにより位相変調光を発生させる。前記位相変調されたレーザー光は、光学的手段などによって収集することができ、その後処理のために方向付けることができる。処理は典型的には、集光装置に連結された干渉計により行われる。複合物に関する情報は、位相変調光プロセス（例えば、亀裂、層間剥離、多孔性、異物（混入物）、剥離、および繊維情報の検出）により、究明することができる。

20

【0027】

特定の実施形態において、中赤外レーザーを用いることができる。一般的には、中赤外レーザーは、光学的侵入深さがより深く、信号対ノイズ比も向上しているため、分析されている表面の熱損傷を起こすことなく熱弾性を発生させ、より短いパルスを発生する。

【0028】

複雑な形状の対象物（例えば、航空宇宙産業において用いられる構成要素）に対してレーザー超音波を用いることによる有利点の1つとして、接触媒質が不要であるため、なぞり動作するロボティクスを用いる必要無く複雑な形状を調査できる点がある。そのため、レーザー超音波を、航空宇宙製造においてポリマーマトリクス複合材料の検査のために用いることができる。これらの複合材料の場合、複合材料の準備中に複数の特性化段階を経る場合があり、その内の1つとして、レーザー超音波による超音波調査がある。製造時の特定の時点において、当該複合物の形成に用いられる樹脂を適切に硬化させることを確実にするために、好ましくは複合物を化学的に特性化する。さらに、前記形成プロセスにおいて正しい樹脂が用いられたことを確認することが重要である。レーザー超音波は非破壊型の非接触型技術であるため、レーザー超音波は好適な分析方法である。典型的には、複合材料の化学特性化では典型的には、赤外分光法による実験室分析のための制御サンプルを入手することを含む。

30

【0029】

本方法を用いることによる別の有利点として、本明細書中記載される分光分析は、特定の部品から取り出されて実験室で分析されたサンプルに対してではなく、製造したままの部品に対して行うことが可能である点がある。さらに、本明細書中記載される分光分析技術は、部品が完成品に固定されている状態でも、用いることが可能である。特定の実施形態において、本方法は、完成品に対して耐用年数の間（すなわち、実用された後、および航空機または他の乗り物に固定された状態で）完成品に対して用いることができる。例えば、分光分析を、航空機部品に対して、航空機上に組み付ける前の当該部品の受入試験時において、当該部品に対して行うことができる。同様に、当該航空機の受け入れ前に、または当該航空機が就航した後に、および当該部品または航空機の耐用年数の間に、航空機に固定した後の部品を分光分析を用いて分析することも可能である。

40

【0030】

本方法は、航空機を含む最終製品に限定されず、任意の単一部品または2個以上の部品

50

を含む任意の製品も含み得る点に留意されたい。さらに、前記レーザー超音波システムを用いて、部品または部品の一部において、アクセスが困難な場所に分光分析を行うことも可能である。本方法は、製造された部品などの標的対象物の組成を決定できるだけでなく、当該対象物の形成プロセスが正確に行われているか否かも判定することができる。例えば、当該部品が複合物であるかまたは樹脂製品を含んでいる場合、当該複合物の成分（例えば、樹脂）が適切に処理または硬化されているか否かを判定することができる。さらに、最終製品の形成において特定の成分または所望の成分（例えば、樹脂）が用いられたか否かを判定することができる。この分析はまた、コーティング（例えば、塗布表面）が対象物に塗布されているか否か、適切なコーティングが表面に塗布されたか否か、および前記コーティングが適切に塗布されたか否かを判定する。

10

#### 【0031】

そのため、記録された既知の複合物の光学的深さデータは、測定された超音波変位値および対応する生成ビーム波長から材料を特定するための有効な比較基準を与える。上記したように、部品の材料についての特定は、特定の材料組成に限定されず、コーティング、当該材料が適切に処理されているか否か、および当該材料において組成物が占める百分率も含むことができる。

#### 【0032】

一態様において、本発明は、複合材料の位置データおよび分光データを相関付けるための自動化された非破壊技術および装置を提供する。先ず図1を参照すると、構造化光レーザー超音波装置100の例示的实施形態が提供される。装置100は、レーザー超音波システム102と、アナログカメラ104と、構造化光システム106とを含む。レーザー超音波システム102は、生成レーザーと、検出レーザーと、前記検出レーザーからの光を収集するように構成された光学手段とを含み得る。特定の实施形態において、前記光学手段は、光学的スキャナなどを含み得る。例示的な生成レーザーおよびレーザー検出手段は、当該分野において公知である。アナログカメラ104は、リアルタイムモニターである。構造化光システム106は、構造化光信号を提供するレーザー108と、走査されている対象物のパノラマ画像を提供する任意選択のテクスチャカメラ110と、構造化光カメラ112とを含む。特定の实施形態において、構造化光カメラ112は、レーザー108によって生成されたレーザー光以外の光を全てフィルタリングするように設計されたフィルタを含み得る。システム100は、アーム周囲に回転軸118を有する多関節ロボットアーム116に連結される。システム100はまた、構造化光システム106をロボットアーム116に連結するパンチルトユニット114も含む。ロボットアーム116は好適には、システムが前記アームの位置および取り付けられたカメラおよびレーザーを認識できるようにするためのセンサーを含み、これにより、自己認識型の絶対位置決め方式システムが得られ、かつ、走査されている部品を基準ツールテーブル上に配置する必要性も無くなる。さらに、この自己認識型のロボットシステムは、ツールテーブル上での分析には大きすぎる場合のある大型の対象物の走査にも適している。システム100は、多様なカメラの制御およびデータの収集を行うように動作可能なソフトウェアを含むコンピュータに連結され得る。特定の实施形態において、前記システムは、定置式システムであり得る。他の特定の实施形態において、前記システムは、線形レールに連結され得る。他の特定の实施形態において、前記システムは、可動ベースまたは乗り物に設置され得る。前記乗り物を有利に用いて、前記システムを多様な場所に搬送することができる。

20

30

40

#### 【0033】

特定の实施形態において、多関節ロボットアームと、前記アームを動かすための任意の手段とは、一般的エリア内の対象物との衝突を回避するための手段（例えば、テーブル等）を含むことができる。衝突回避は、全ての固定物および対象物の場所をロボットアーム用制御システムへプログラミングすることまたは多様なセンサーの使用を通すことなど、多様な手段により、達成することができる。典型的には、ロボットアームは、走査されている部品が占有している空間を占有しないようにロックアウトされる。

#### 【0034】

50

ここで図2を参照すると、部品を走査する例示的方法のステップと、位置データに対応するレーザー超音波データを提供する方法のステップとが提供される。第1のステップ202において、校正された構造化光システム、レーザー超音波システムおよびロボット位置決めシステムが提供される。第2のステップ204において、走査するために部品を事前規定された場所内に位置決めする。一般的には、当該部品を先行技術の場合のように既知の場所に位置決めすることは不要であるが、当該部品を規定の場所内に位置決めすることは部品に対して有利である。第3のステップ206において、構造化光システムおよびレーザー超音波システムによって部品を同時に走査する。特定の実施形態において、構造化光システムは、部品表面の絶対位置を測定するために、構造化光システムに対する所定の経路を追従する。典型的には、構造化光カメラは、レーザー光のみがフィルタを通過し記録されるように光をフィルタリングするフィルタを含む。これは、当該レーザーによって生成される波長以外の全波長をフィルタリング除去することにより、達成することができる。線検出アルゴリズムは、対象物表面に対する各個々の走査における座標を決定する。構造化光システムデータおよび対応するレーザー超音波データが記録される。当該部品の残りの画像を撮影するようにシステムを移動および再位置決めし、これにより、走査されている部品の全ての表面を確実に撮影できるようにする。第4のステップ208において、部品の表面全体を走査した後、構造化光データをコンパイルして、対象物の3D表示を得る。第5のステップ210において、構造化光データは、既知のデータセット（例えば、類似の対象物のCADデータまたはアーカイバル構造化光走査）と整合される。第6のステップ212において、レーザー超音波データを、構造化光データおよび対応する既知のデータセット（例えば、CADまたはアーカイバルデータ）と相関付ける。このようにして、レーザー超音波データを当該部品の構造に対してマッピングすることができ、欠陥の存在、不在または形成に関するトレンドを判定することが可能になる。

10

20

#### 【0035】

超音波変位は、熱弾性膨張に応答して標的表面上に発生する。特定の超音波波長における前記超音波変位の振幅は、生成レーザービームの標的表面内への光学的侵入深さに直接比例する。光学的侵入深さは、標的の光吸収の逆数である。そのため、本方法の別の実施形態において、生成レーザービーム光学的波長を変化させることにより、標的材料の吸収帯を生成ビームの波長範囲にわたって観測することができる。

#### 【0036】

自動化されたシステムは、各個々の部品をツールテーブル上に精密に位置決めすることで各部品に対して初期基準点を設定することが必要であった先行技術による従来のシステムよりもずっと高速であるため、有利である。先行技術による方法の1つの主な不利点として、（例えば、後で比較および編集できるようデータベースを作成するために）比較に適したデータを得るためには、類似形状を有する各後続部品を完全に同じ状態で位置決めしなければならなかった点がある。特定の実施形態において、本システムは、先行技術による方法と比較して最大5倍の速さで部品の走査を行うことが可能であり、好適な実施形態において、本システムは、先行技術による方法よりも最大10倍の速さで部品走査を行うことが可能である。データ取得速度が増加すれば、部品のスループットも増加する。

30

#### 【0037】

超音波データは好適には、構造化光データの測定と同時に測定される。特定の実施形態において、構造化光システムをレーザー超音波システムと同期させる。その後、個々の超音波データ点を部品表面上の座標と相関付け、登録されている座標測定セット上に投影することができる。特定の実施形態において、超音波測定を特定の走査のエッジと重ね合わせることができる。いくつかの場合において、超音波測定の姿勢を、複数のデータ点が必要なものとして表示されている部品の特定エリア内において重ね合わせるように、設計することができる。

40

#### 【0038】

上記したように、レーザー超音波データをCADデータにまたは登録された構造に対してマッピングすることによる有利点としては、検証された構造を使用および部品表面全体

50

が走査されていることの立証による、検査効率の向上が含まれる。さらに、超音波データを部品の座標データと相関付けることにより、将来走査される部品と相関付けられるように、部品データのアーカイブ処理を簡略化することができる。

#### 【0039】

レーザー超音波は、他の一般的材料特性（例えば、多孔性、異物、層間剥離、多孔性、異物（混入物）、解体、亀裂）および繊維特性（例えば、繊維配向および繊維密度）、部品厚み、およびバルクの機械的特性を測定する際に有用である。そのため、本方法の別の有利点として、レーザー超音波検出システムにより、欠陥条件の存在についてバルク材料を分析している間に、同時に、標的分光分析を行うことができる点がある。これにより、時間および資金を節約できるだけでなく、本方法により、試験クーポンまたは標準試験片に対応するものではなく対象物そのものの表面全体に対して分析を行えるため、より代表的な分光分析を提供することができる。上記したように、製造された部品そのもの、より大型の完成品に固定された部品、または組み立てられた最終完成品全体に対して走査を行うことが可能である。

10

#### 【0040】

特定の実施形態において、分析されている対象物についてCADデータを利用できる場合がある。これらの実施形態において、構造化光システムによって生成された3D位置データをCADデータと比較しかつ/またはCADデータと重ね合わせることができる。これを、製造プロセスを検証するための品質管理手順として用いることができる。他の実施形態において、構造化光データをCADデータと重ね合わせることで、部品を確認することができる。構造化光システムによって収集されたデータを用いて、対象物の3D構造に対応するデータクラウドを得ることができる。システムに用いられる校正技術に基づいて、絶対データクラウドを生成することができる。その後、このデータクラウドをCAD図面上に配向することができ、これによって構造化光データとCADデータとの間の相関付けを提供することができる。好適には構造化光データと同時に収集され、対象物表面上の個々の点と相関付けられるレーザー超音波データは、その後、レーザー超音波データをCADデータ上に投射またはマッピングすることで、レーザー超音波データに対する絶対座標データを得ることができる。

20

#### 【0041】

特定の実施形態において、装置は、テクスチャカメラなどの第2のカメラを含み得る。テクスチャカメラは一般的には、対象物のフル画像をキャプチャし、部品認識の目的で用いることができる。構造化光カメラとは異なり、テクスチャカメラ画像に対しては、画像から対象物を除去するためのフィルタリングは行わない。構造化光データが部品の仮想表面を提供するのに対し、テクスチャカメラは対象物の実際の画像を提供することができ、このような実際の画像を構造化光およびレーザー超音波データと併せて用いることができる。このようにして、構造化光データおよびCADデータ双方を、テクスチャカメラから得られた視覚画像と比較することができる。さらに、テクスチャカメラにより、走査されている部品の表示をオペレータのためにまたはアーカイブの目的のために得ることができる。

30

#### 【0042】

好適には、対象物の走査を行う前に、構造化光システムを校正する。校正は、測定精度のためおよび走査されている対象物に関連する座標データの作成を確実にするために、必要である。特定の実施形態において、既知の形状の対象物を構造化光システムによって走査することにより、前記システムを局所的に（すなわち、チルトおよび回転機構に関連して）校正する。

40

#### 【0043】

当業者であれば理解するように、複雑な形状を有する部品を走査するには、複数回の走査が必要になり得る。一実施形態において、部品の継ぎ目またはエッジにおいて走査が重複するように走査を行う。別の実施形態において、部品の特定の領域において走査が意図的に重複するように、走査を行う。

50

【0044】

CADデータまたは類似のまたは同一の部品の先行走査のいずれかに対して構造化光データを登録および比較すると、重複を最小にしつつまたは部品の重要領域において重複させつつ表面面積を100%確実に走査できることを支援することが可能になる。さらに、登録することにより、特徴および/または欠陥を走査し、複数の部品にわたって比較することが可能になる。その結果、問題エリアを分析し、将来の欠陥を回避するために解決策を立てることができる。さらに、データを保存することにより、現在修理中の部品を「構築時のままの」データセットと比較することができる。

【0045】

複雑な形状のより小型の部品に対しては、ペグおよび杭を含むツールテーブルを用いて、構造化光システムのための必要な整列のキューを提供することができる。しかし、検査されている部品のベースおよび支持物としてツールテーブルを用いる場合、部品の形状および部品に対する開始基準点に関する事前知識が必要になる。

【0046】

本明細書中用いられる場合、「約」および「およそ」などの用語は、記載の値の5%内の任意の値を含むものとして解釈されるべきである。さらに、「約」および「およそ」などの用語が値の範囲について用いられる場合、記載の範囲の上端および下端の両方を含むものとして解釈されるべきである。

【0047】

本発明は、その実施形態のいくつかのみについて図示および説明してきたが、当業者にとって、本発明はこれらの実施形態に限定されるのではなく、本発明の範囲から逸脱することなく多様な変更が可能であることが明らかである。

10

20

【図1】

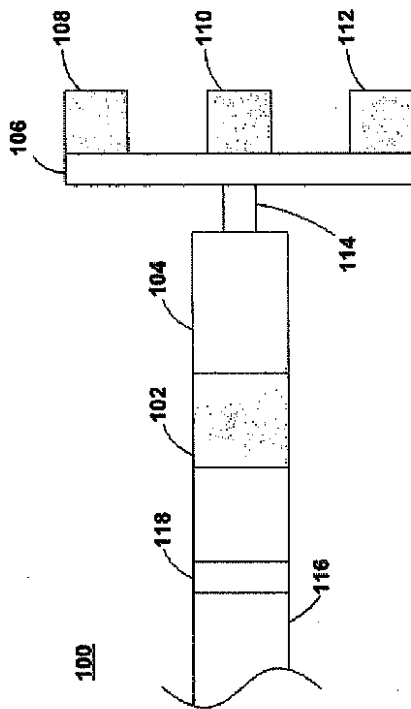
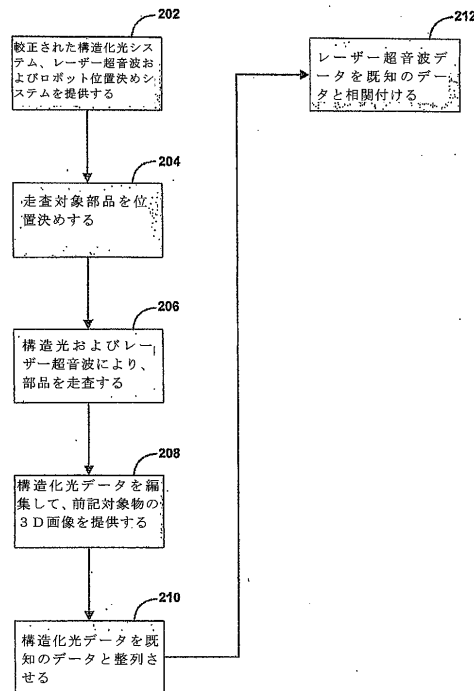


Figure 1

【図2】



## 【手続補正書】

【提出日】平成23年1月19日(2011.1.19)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

超音波システムヘッドに取り付けられたレーザー超音波システムにより物品を分析する方法であって、

構造化光システムが前記超音波システムヘッドに対して独立して移動できるように、前記構造化光システムを前記超音波システムヘッドに取り付けるステップと、

前記超音波システムヘッドおよび前記構造化光システムを移動させ、前記超音波システムからのレーザービームを前記物品の表面に方向付けて超音波表面変位を発生させ、同時に前記構造化光システムを前記超音波システムヘッドから独立して前記超音波システムヘッドに対して移動させ、これにより、前記構造化光システムによって前記物品を走査して、物品の三次元情報を得るステップと、

前記物品の前記表面における前記超音波表面変位を検出するステップと、

物品の三次元情報を前記超音波表面変位と相関付けるステップと、

物品の三次元情報を既知のデータセットと比較するステップと、

前記超音波表面変位データを処理するステップと、

前記既知のデータセットと前記処理された超音波表面変位とを相関付けて、前記超音波表面変位データに関する座標測定を提供するステップと、を含む、方法。

【請求項2】

前記構造化光システムを前記超音波システムヘッドに対して移動させる前記ステップは、前記構造化光システムを前記超音波システムヘッドに対するパン方向およびチルト方向に移動させることを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記構造化光システムを取り付けることは、構造化光システムレーザーおよびカメラをパンアンドチルトユニットに取り付けるステップと、前記パンアンドチルトユニットを前記超音波システムヘッドに移動させるステップとを含み、

前記構造化光システムを前記超音波システムヘッドに対して移動させることは、前記構造化光システムレーザーおよびカメラを前記超音波システムヘッドに対してパンアンドチルト方向に移動させるステップを含む、請求項1または2のいずれかに記載の方法。

【請求項4】

前記三次元情報から、前記物品の表面全体を走査するのに必要な前記超音波システムの走査の最少数を計算することをさらに含む、請求項1～3のいずれかに記載の方法。

【請求項5】

前記物品を構造化光システムによって走査する前記ステップは、

少なくとも1つのカメラと、光線生成要素と、前記構造化光装置を移動させる手段とを備える構造化光装置を提供することと、

前記光線生成要素から光線を前記物品の前記表面上に発射することと、

前記物品の前記表面上に発射されている前記光線の画像を受信するように、前記カメラを動作させることと、

前記物品の表面全体が前記構造化光システムによって走査されるまで、前記構造化光装置を次の場所に移動させることと、

を含む、請求項1～4のいずれかに記載の方法。

【請求項6】

前記物品の前記表面における超音波表面変位を検出する前記ステップは、  
前記物品の前記表面において超音波変位を発生させることと、  
検出用レーザービームを生成することと、  
前記検出用レーザービームを前記物品の前記表面に方向付けることと、  
前記物品の前記超音波表面変位によって前記検出用レーザービームを散乱させて、位相  
変調光を得ることと、  
前記位相変調光を処理して、前記表面における前記超音波表面変位に関連するデータを  
得ることと、  
前記データを収集して、前記物品の構造に関する情報を得ることと、  
を含む、請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の方法。

【請求項 7】

前記既知のデータセットは C A D データである、請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の方法  
。

【請求項 8】

前記既知のデータは、最初に記述した物品に類似する別の物品のアーカイバル構造化光  
走査を含む、請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の方法。

【請求項 9】

前記既知のデータセットおよび前記処理された超音波表面変位を相関付ける前記ステッ  
プは、欠陥の存在、不在または形成に関するトレンドを判定することをさらに含む、請求  
項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記物品の三次元情報を既知のデータセットと比較する前記ステップは、前記物品の三  
次元情報を前記物品の C A D 図面上に投影することを含む、請求項 1 ~ 9 のいずれかに記  
載の方法。

【請求項 11】

物品を検査するための装置であって、  
多関節ロボットアームであって、前記アームは、  
構造化光システムであって、前記構造化光システムは、前記物品に関連する三次元情  
報を提供するために光源およびカメラを備える、構造化光システムと、  
レーザー超音波システムであって、前記レーザー超音波システムは、前記物品の前記  
表面上の中赤外生成レーザー生成超音波振動と、前記超音波振動に回答して散乱するビー  
ムを提供する検出用レーザーと、前記検出用レーザーの前記散乱したビームを収集する光  
学機器とを含む、レーザー超音波システムと、  
前記アーム、前記構造化光システムおよび前記レーザー超音波システムの位置を認識  
するために、前記ロボットアームに連結されたセンサーと、  
を備える、多関節ロボットアームと、  
中央処理装置と、  
運動制御システムと、  
を備え、  
前記構造化光システムは、パンアンドチルトユニットによって前記多関節ロボットア  
ームに連結され、前記パンアンドチルトユニットにより、前記構造化光システムは、前記レ  
ーザー超音波システムから独立して前記レーザー超音波システムに対して移動することが  
できる、  
装置。

【請求項 12】

前記構造化光システム光検出手段は、電荷結合素子を含む、請求項 11 に記載の装置。

【請求項 13】

前記生成レーザー、前記検出レーザー、および光学機器は、前記アームに対して回転可  
能な超音波システムヘッドに取り付けられ、  
前記パンアンドチルトユニットは、前記ヘッドに対してパン移動およびチルト移動でき

るよう、前記ヘッドに取り付けられる、  
請求項 1 1 または 1 2 のいずれかに記載の装置。

【請求項 1 4】

前記中央処理装置は、前記構造化光システムの測定を処理し、前記物品に関連する前記三次元情報を提供するように構成される、請求項 1 1 ~ 1 3 のいずれかに記載の装置。

【請求項 1 5】

前記中央処理装置は、前記物品に関連する前記三次元情報と、前記物品の前記表面上の前記超音波振動とを相関付けるように構成される、請求項 1 4 に記載の装置。

【請求項 1 6】

就航中の航空機部品を評価する方法であって、

超音波システムヘッドに対して、前記超音波システムヘッドから独立して移動できるように、構造化光システムを前記超音波システムヘッドに取り付けることと、

前記構造化光システムを前記超音波システムヘッドに対して、前記超音波システムヘッドから独立して移動させることにより、製作したままの航空機部品を前記構造化光システムによって走査して、第 1 の物品の三次元情報を入手し、同時に前記超音波システムヘッドからのレーザービームデータを前記製作したままの航空機部品の表面に方向付けて、第 1 の超音波表面変位を発生させることと、

前記第 1 の超音波表面変位を検出することと、

前記製作したままの航空機部品の第 1 の三次元情報を、前記第 1 の超音波表面変位と相関付けることと、

前記製作したままの航空機部品の第 1 の三次元情報を、第 1 の既知のデータセットと比較することと、

前記第 1 の超音波表面変位データを処理して、第 1 の処理された超音波表面変位データを提供することと、

前記第 1 の既知のデータセットと前記第 1 の処理された超音波表面変位データとを相関付けて、前記製作したままの航空機部品の前記第 1 の超音波表面変位データについて座標測定を提供することと、

前記製作したままの航空機部品の第 1 の三次元情報および前記第 1 の超音波表面変位データを保存することと、

前記製作したままの航空機部品を航空機に取り付けることと、

第 2 の超音波システムヘッドに対して移動できるように、第 2 の構造化光システムを前記第 2 の超音波システムヘッドに取り付けることと、

前記第 2 の構造化光システムを前記第 2 の超音波システムヘッドに対して、前記第 2 の超音波システムヘッドから独立して移動させることにより、前記取り付けられた航空機部品を構造化光システムによって走査して第 2 の物品の三次元情報を入手し、同時に前記第 2 の超音波システムヘッドからのレーザービームを前記取り付けられた航空機部品の表面に方向付けて、第 2 の組の超音波表面変位を発生させることと、

前記第 2 の超音波表面変位を検出することと、

前記取り付けられた航空機部品第 2 の三次元情報と、前記第 2 の超音波表面変位とを相関付けることと、

前記第 2 の超音波表面変位データを処理することと、

前記第 1 の既知のデータセットと前記第 2 の処理された超音波表面変位データとを相関付けて、前記第 2 の超音波表面変位データの座標測定を提供することと、

前記取り付けられた航空機部品の三次元の第 2 の情報および第 2 の処理された超音波表面変位データと、前記製作したままの航空機部品の三次元の第 1 の情報および第 1 の処理された超音波表面変位データとを比較することと、

を含む、方法。

【請求項 1 7】

前記航空機部品の前記評価は、層間剥離、亀裂、混入物、解体およびこれらの組み合わせからなる群から選択された欠陥の特定を含む、請求項 1 6 に記載の方法。

**【請求項 18】**

前記製作したままの航空機部品を走査する前記ステップは、前記第1の物品の三次元情報を用いて、先ず前記物品の表面全体を走査するのに必要な走査の最少数を決定することを含む、請求項16または17のいずれかに記載の方法。

**【請求項 19】**

前記製作したままの航空機部品の第1の三次元情報を、第1の既知のデータセットと比較することは、前記第1の三次元情報を前記製作したままの航空機部品のCADデータと比較することを含む、請求項16～18のいずれかに記載の方法。

**【請求項 20】**

前記分析されている物品とその一般的な領域内の対象物との衝突を回避するように前記多関節ロボットアームをプログラムすることをさらに含む、請求項16～19のいずれかに記載の方法。

【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/US2009/043902

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. G01B11/25 G01B17/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, INSPEC, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	TURNER W ET AL: "Using computer vision to map laser ultrasound onto CAD geometries" AIP CONFERENCE PROCEEDINGS, no. 657A, 2003, pages 340-347, XP002543201 AIP USA ISSN: 0094-243X the whole document	1-17
A	WO 2008/052348 A1 (NORTHERN DIGITAL INC [CA]; VANDERKOOY GEOFFREY E [CA]; FISHER TERRY HA) 8 May 2008 (2008-05-08) abstract; figures 1-6 page 2, lines 14-24 page 9, lines 7-12 page 10, line 30 - page 11, line 2 ----- -/--	1-17
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "Z" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
27 August 2009		25/09/2009
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5618 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Mihai Vasile

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No  
PCT/US2009/043902

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2006/219014 A1 (TURNER WESLEY D [US] ET AL) 5 October 2006 (2006-10-05) abstract; figures 10,11 paragraphs [0004], [0027], [0040], [0042], [0044] -----	1-17

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No  
PCT/US2009/043902

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2008052348 A1	08-05-2008	US 2008107305 A1	08-05-2008
US 2006219014 A1	05-10-2006	NONE	

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 デュボア, マーク

アメリカ合衆国テキサス州76248, ケラー, フォックスクロフト・レイン 312

(72)発明者 ドレイク, トーマス・イー, ジュニア

アメリカ合衆国テキサス州76110, フォート・ワース, ライアン・ブレイス・ドライブ 2530

(72)発明者 カイザー, デーヴィッド・エル

アメリカ合衆国テキサス州76133, フォート・ワース, ウィットマン・アベニュー 6916

(72)発明者 オスターカンブ, マーク・エイ

アメリカ合衆国テキサス州76087, ウェザーフォード, レッド・バド・ドライブ 3601

Fターム(参考) 2F065 AA04 AA06 AA21 AA49 AA53 AA60 BB05 DD03 DD06 FF01  
 FF02 FF04 FF09 FF52 FF61 FF67 GG04 HH05 HH06 HH07  
 JJ03 JJ05 JJ26 LL22 LL53 MM11 PP05 PP25 QQ25 RR05  
 SS02 SS13  
 2G047 AA05 AA06 AB05 BC08 BC09 BC10 BC12 CA04 EA09 EA16  
 GG27