

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6359665号  
(P6359665)

(45) 発行日 平成30年7月18日 (2018. 7. 18)

(24) 登録日 平成30年6月29日 (2018. 6. 29)

(51) Int. Cl.		F I	
GO 1 N 23/046	(2018. 01)	GO 1 N	23/046
GO 1 N 23/18	(2018. 01)	GO 1 N	23/18
GO 1 N 24/08	(2006. 01)	GO 1 N	24/08 5 1 0 Z

請求項の数 9 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2016-539614 (P2016-539614)	(73) 特許権者	306047664
(86) (22) 出願日	平成26年8月29日 (2014. 8. 29)		サフラン
(65) 公表番号	特表2016-532873 (P2016-532873A)		フランス国、75015・パリ、ブルーバール・ドユ・ジエネラル・マルシイアル・バラン、2
(43) 公表日	平成28年10月20日 (2016. 10. 20)	(74) 代理人	110001173
(86) 国際出願番号	PCT/FR2014/052146		特許業務法人川口国際特許事務所
(87) 国際公開番号	W02015/033044	(72) 発明者	モラル、バンサン
(87) 国際公開日	平成27年3月12日 (2015. 3. 12)		フランス国、77000・ムラン、ブラス・デュ・ウブロン、1
審査請求日	平成29年7月31日 (2017. 7. 31)	(72) 発明者	パラ、エステル
(31) 優先権主張番号	1358601		フランス国、91450・フォントネール・ピコント、リュ・デ・メシ、8
(32) 優先日	平成25年9月6日 (2013. 9. 6)		
(33) 優先権主張国	フランス (FR)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 複合材料製部品の特徴付け方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

織物複合材料製部品の特徴付け方法であって、部品のボリユームの観察ウィンドウ内の3次元画像の自己相関値を、自己相関間隔として使用される複数の空間ベクトルについて計算するステップ(200; 201)と、次いで、隣接する平行系間の距離の、観察ウィンドウ内での平均を求めるために、製織の主要な向きに関する、自己相関値内の少なくとも1つの局所的極値を検出するステップ(400、410; 401、411)とを含む、方法。

【請求項 2】

自己相関値が、ウィーナーヒンチンの定理を用いて計算される(200; 201)、請求項1に記載の特徴付け方法。

【請求項 3】

複数のベクトルにおいて主要な製織の向きを検出するステップ(300、310)を含む、請求項1または2に記載の特徴付け方法。

【請求項 4】

部品の画像を、製織の主要な向きを画像の軸と位置合わせするように、再位置合わせするステップ(110)を含む、請求項1から3のいずれか一項に記載の特徴付け方法。

【請求項 5】

隣接する横系間の距離および隣接する縦系間の距離の、観察ウィンドウ内での平均をそれぞれ求めるために、横系方向および縦系方向についての少なくとも1つの局所的極値が

検出される(400、410; 401、411)、請求項1から4のいずれか一項に記載の特徴付け方法。

【請求項6】

部品が3次元的に織成された複合材料製である、請求項1から5のいずれか一項に記載の特徴付け方法。

【請求項7】

部品が炭素マトリックス内に炭素繊維を備える、請求項1から6のいずれか一項に記載の特徴付け方法。

【請求項8】

画像がX線断層撮影画像である、請求項1から7のいずれか一項に記載の特徴付け方法

10

【請求項9】

断層撮影装置を用いて画像を取得するステップを含む、請求項1から8のいずれか一項に記載の特徴付け方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、材料および構造、特に、織成繊維強化材を有する複合材料製の機械工学産業用部品の特徴付け方法の分野に属する。そのような部品は、他の材料製の部品に比べたその堅牢性およびその低重量のため、航空分野でますます使用されている。こうした部品は、製造が容易でもある。当該部品のうち、ガスタービン用のブレードまたはケーシングを含むエンジン部品が特に関係する。そのような部品の、繊維強化材がマトリックスに埋め込まれる独特の構造のため、織成繊維強化材の特性を、工業生産工程中または当該部品が使用されている間にいつでも検査できることが必要とされている。これにより、部品内の疲労または摩耗のレベルを見出すこと、また欠陥または損傷があればそれを特定することが可能になる。当然のことながら、織物強化材はマトリックスに埋め込まれているので、それにアクセスすることは困難で、知られている方法は一般に破壊的であり、そのような部品を数多く生産および使用する状況において、これは満足できるものではない。したがって、繊維強化材の非破壊の特徴付け方法があることが望ましい。

20

【背景技術】

【0002】

X線断層撮影(コンピュータにより計算される軸断層撮影、またはCTスキャン)は、物品内部の非破壊検査を実行する、知られている方法である。それは、複数の平面内で、材料によってX線ビームに与えられる減衰を測定するように振る舞うものである。次いで、各平面内で収集されたデータから、3次元画像が再構成される。その後、各断面平面内の材料の構造を視覚化するために、3D画像の断面を形成することが可能である。

30

【0003】

上述した手法は、織物強化材を有する複合材料に適用されても、ほとんど役に立たず、または満足できる結果をほとんど生み出さない。織物強化材は、互いに平行な多数の縦系、および同様に互いに平行な多数の横系を有し、これら2組の平行系が製織の主要な向きまたは特性方向を定める、大きなサイズの物品を備える。縦系のカラム間の平均距離および横系のカラム間の平均距離(縦系相互間の距離および横系相互間の距離、すなわち縦系間距離および横系間距離)が、製織の均一なゾーン内で正しく強化材の特徴付けをするのに適した情報を成す。しかし、そのような情報を、3D画像の2次元断面に基づいて、または複数のそのような断面に基づいて求めるには、手間のかかる、自動化の困難な作業が必要となる。それをうまく実施するには、横系の層および縦系の層を特定し、そこから、それらの層それぞれの間隔を導き出す必要がある。そのような測定にはいずれも、オペレータ側の主観性が関与し、またそのような測定はいずれも、画像に含まれるあらゆる種類の雑音によって妨害されるおそれがある。さらに、調査中の部品の形状によっては、調査すべき断面の特定が困難となる場合があり、信頼性の高い結果を得るために複数の断面を

40

50

調査する必要もある。したがって、そのような工程の工業化は、実施が容易ではなく、場合によっては実施が不可能でさえある。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0004】

本発明の定義および関連する利点

上記の困難を解決し、自動化が容易で信頼性の高い結果をもたらす非破壊方法を提案するために、織物複合材料製部品の特徴付け方法であって、観察ウィンドウ内で取得された部品のポリウレームの3次元画像の自己相関値を、自己相関間隔として使用される複数の空間ベクトルについて計算することと、次いで、隣接する平行系間の距離の、観察ウィンドウ内での平均を求めめるために、製織の主要な向き（特性方向）に関する、自己相関値内の少なくとも1つの局所的極値を検出することを含む、方法が提供される。

10

【0005】

自己相関の1つの性質が、零ベクトルについて得られる一意の大域的最大値を得るというものである。製織の特性方向に平行なベクトルについて、自己相関は局所的最大値もとり、この局所的最大値は、ベクトル空間内の当該特性方向に平行な直線に沿って相次いで生じる。これらの最大値は、ベクトル空間の断面内にローブの形で視覚化され得る。これらの局所的最大値のうち少なくとも1つ（または2つの連続する最大値間の最小値）を検出することによって、零ベクトルからのその距離を参照することにより、隣接する平行系間の距離の倍数を得ることが可能である。零ベクトルに最も近い局所的最大値が検出された場合、それにより、隣接する平行系間の距離を直接入手することができる。

20

【0006】

自己相関を用いることにより、本方法は、オペレータが部品のポリウレームの画像を視覚的に読み取るときに生じる主観性を排除する。その結果、本方法はより正確で、より信頼性が高い。それゆえ、本方法はまた、雑音の影響をそれほど受けない。人間オペレータは一般に、部品のポリウレームの画像の2次元断面に対して操作するのに対し、本方法は、そのポリウレームの画像の3つの次元を使用することによって、部品全体を通じて非破壊で縦系間距離および横系間距離を測定することを可能にする。最後に、本方法は自動化され得、したがって、人間オペレータによる読取りに頼る方法よりも高速である。要約すると、本方法は、自己相関を使用しない技法よりも、実施が正確でもあり容易でもある。

30

【0007】

本方法は、X線断層撮影によって取得された、または部品のポリウレームを画像形成するための他の任意の技法によって取得された画像に適用されるものと定められる。特に、忘れてはならないのは、X線は必須ではなく、他の断層撮影方法が知られており、具体的には、核磁気共鳴（NMR）断層撮影が知られているということである。

【0008】

非常に有利な一実施形態では、ウィーナーヒンチンの定理を用い、すなわちダイレクトおよび逆フーリエ変換と、複素数の絶対値関数とから構成される数学関数を用い、それを調査中の複合材料部品の3次元画像に適用することによって、自己相関値が計算される。それは、単純な、自動化に適した、かつ全ての自己相関関数を連続的かつ網羅的に計算し、したがって、「自己相関」画像と呼ばれる3次元「画像」として一緒にグループ化される自己相関値の、質の高い調査の実行を可能にする工程である。

40

【0009】

特定の一実施形態では、本方法は、例えば自己相関画像内で、複数のベクトルにおいて製織の特性方向を検出することを含む。それは、横系方向または縦系方向に対応する、局所的最大値および大域的最大値の配列を特定することを含む。

【0010】

先の実施形態と任意選択で組み合わせることの可能な一実施形態では、本方法は、複合材料部品の3D画像を、製織の軸（特性方向）を画像の軸と位置合わせするように、事前に再位置合わせすることを含む。

50

## 【0011】

部品の特徴付けを完全に行うべく、本方法は当然のことながら、隣接する横系間の距離および隣接する縦系間の距離の、観察ウィンドウ内での平均をそれぞれ求めるために、横系方向および縦系方向についての極値の検出を行うことができる。それにもかかわらず、本方法は、横系のみまたは縦系のみ注目しながら実行されてよい。

## 【0012】

実行が容易な一実施形態では、使用される極値が最大値であり、特に連続する極値に注意が払われてよいものと定められる。使用される極値は一般に、零ベクトルについて得られる大域的最大値を含むが、それを、2つの連続する局所的極値を調査することによって除外することも可能である。

10

## 【0013】

本方法は特に、3次元的に織成された複合材料製の部品および/または炭素マトリックス内に炭素繊維を備える部品の調査向けに提案される。例として、部品は、航空エンジン用のブレードまたはケーシングとすることができる。

## 【0014】

本発明は、画像の分析を中心に据えているが、本発明は、画像の使用だけではなく、その取得もまた関与する方法も提供する。

## 【0015】

添付の図面を参照して説明を続ける。

## 【図面の簡単な説明】

20

## 【0016】

【図1】織成繊維強化材を有する複合材料部品に使用される3D製織の図である。

【図2】本発明の一実施形態を示すフローチャートである。

【図3】複合材料製部品の3D画像の3D自己相関画像の断面を表面レンダリングしたものを示す図である。

【図4】図1の実施形態の最終ステップの間に得られた曲線を示す図である。

【図5】図1の実施形態の最終ステップの間に得られた曲線を示す図である。

【図6】本発明の第2の実施形態を示すフローチャートである。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0017】

30

本発明は、その製織が、部品全体を通じて所与の製織方式を用いて実行された、または場合によっては、複数の製織方式を、それらの方式が移行ゾーンによって分離された状態で、用いて実行された織成繊維強化材を有する、複合材料製部品に適用される。製織は、2次元製織とすることもでき、あるいは3次元製織とすることもでき、その場合は、部品の機械的強度に加担するという点から多大な利点を呈する。3次元製織方式が、図1に示されている。図では、横系間距離がAと記され、縦系間距離がBと記されている。

## 【0018】

製織は、2次元であるか、それとも3次元であるかに関わらず、縦系と横系を織り交ぜて、互いに平行な縦系が同様に互いに平行な横系と交差することに基づく。2つの移行ゾーン間の所与の製織方式について、2本の隣接する縦系間の距離はほぼ一定であり、2本の隣接する横系間の距離も同様にほぼ一定である。幾何学的情報の数ある項目の中で、これらの2つの距離が、製織方式の特徴付けをし、部品の疲労または摩耗状態の特徴付けもする。

40

## 【0019】

図2を参照して行われ、そのような複合材料部品、例えば炭素マトリックス内に炭素繊維を備える複合材料製部品に当てはまる、本発明の一実施形態についての説明を次に行う。

## 【0020】

ステップ100の間、X線断層撮影によって部品の画像が形成される。X線断層撮影は、物品を通過するX線ビームの減衰を、物品の異なる断面平面内で測定するものであるこ

50

とを思い出されたい。その後、1組の投影像に対してコンピュータ処理が使用されて、部品の内部の3次元画像を再構成することができる。取得によるアーティファクトを減衰させるために、また3D画像の各ボクセルに割り振られた濃度値(強度)が、部品内の当該箇所の材料の密度に比例するように、この画像に、場合によってはフィルタがかけられてよい。

【0021】

画像が得られた後、疲労の状態または特性を見出すことが望まれる、製織方式が一定の(すなわち換言すれば、製織の均一な)部品のゾーンを含む、分析ウィンドウ(または観察ウィンドウ)を選択することが適切である。

【0022】

ステップ200の間、次いで、3D画像の自己相関が実行され、これは選択された観察ウィンドウに限定される。(信号が1つまたは複数の次元を有する集合に基づいているかどうか、またそれが離散的か連続的かどうかに関わらず)信号の自己相関は、その信号とそれ自体との相互相関であり、自己相関により、規則性、信号内で反復するプロファイル、または信号が基本周波数を有しているときにそれを検出することが可能になることを思い出されたい。

【0023】

数学的には、信号xの自己相関Cは、次のように記述される。

【0024】

【数1】

$$C_x(h) = \sum_{n=0}^N (x_n - m) - (x_{n-h} - m)$$

上式で、mは、考慮中のウィンドウにわたる信号xの平均値である。和は、離散集合にわたる関数の場合、xの要素の数N個にわたってとられ、関数が連続集合にわたるとき、和は積分に置き換えられる。

【0025】

関数は、信号の開始集合内の、自己相関間隔(または自己相関間隔ベクトル)と呼ばれる値hのとり得る、全ての値について計算される。

【0026】

関数Cは、どんな信号xであれ、h=0の場合に大域的最大値をとることを思い出されたい。xが周期的である場合、Cも、xと同じ周期で周期的であることも知られている。

【0027】

本発明では、Cの値は、3D画像のできるだけ多数のベクトルhについて計算される。これは、定常確率過程の自己相関関数が、そのスペクトルパワー密度によって与えられるスペクトル分解を有すると規定する、ウィナーヒンチンの定理の教示を使用することによって、網羅的に実行される。したがって、関数Cは、次のように計算されてよい。

【0028】

$$C_x = F T^{-1} [ | F T(x) |^2 ]$$

上式で、FTはフーリエ変換であり、FT<sup>-1</sup>は、逆フーリエ変換である。

【0029】

この式を観察ウィンドウ内の3D画像に適用することによって、画像内に含まれる全てのベクトルについて自己相関関数によってとられる値の集合を、短い計算時間で得ることが可能である。この集合は、(3D)自己相関画像と呼ばれる。というのも、各ベクトルhが点x、y、zによって表され、また各ベクトルhに強度Cが関連付けられ、その強度が例えば輝度または色の形で表示されてよい、画像として見られ得るためである。自己相関の画像には、複合材料部品の3D画像の3D自己相関画像の、画像の中央を通過する平面に沿った断面を表面レンダリングしたものである図3に見られ得るように、複数のローブがある。

【0030】

10

20

30

40

50

観察ウィンドウ内の製織方式は周期的なので、自己相関は局所的最大値をとり、それが、製織方式の周期を測定するために検出されてよい。これは、最初に、自己相関値から織物強化材の2つの特性方向を抽出するということを意味する。抽出は、ステップ300および310において行われる。それは、自己相関画像内の局所的最大値の配列を、画像の各ロープ内でそれらの配列を注意深く探索しながら、検出するものである。ある配列が、点 $h = 0$ を通過するはずである。

【0031】

織物強化材の特性方向が特定された後、方法は、これらの2つの方向のそれぞれについて互いに独立に、2つの連続する最大値間の、より正確には点 $h = 0$ と、先のステップにおいて特定された特性方向において、その点に続く最初の局所的最大値との間の距離 $|h|$  (ベクトル $h$ のノルム)を測定することによって、継続する。

10

【0032】

図2に参照番号400および410によって表されるこの新たなステップが、図4および図5に示されており、これらは、特性方向に対応する線上の座標の値 $h$ を横軸に沿ってプロットし、また自己相関画像内のそれに対応する点の(この例では正規化された)自己相関値を縦軸に沿ってプロットした、曲線(1Dプロファイル)である。

【0033】

その場合、2つの連続する最大値間の値 $|h|$ が、横系の方向と縦系の方向のどちらかである特性方向の糸間距離を成す。図4は、横系相互間の距離を測定する様子を示し、図5は、縦系相互間の距離を測定する様子を示す。

20

【0034】

自己相関結果を最初の画像および部品と関連させることによって、横系方向と縦系方向を区別することが可能である。

【0035】

例として、 $z$ 軸に沿って位置している横系カラムの間隔を測定することが望まれる場合、この間隔を測定することができるように、自己相関画像内で $z$ 軸に沿って調べる必要がある。この距離は、測定された後、部品の特徴付けをし、また異常があればそれを検出するために、期待値と比較される。

【0036】

図6は、本方法の一変形形態を示す。この変形形態は、図2に示されている実施形態と同様に、画像を取得し、観察ウィンドウを定義するステップ101から開始することを含む。

30

【0037】

これに続いて、部品の3D画像の軸を、画像内で観察される織物強化材の軸と再位置合わせするステップ110がある。これにより、部品ごとの製織のばらつき、および画像形成工程ごとの画像取得のばらつきを考慮に入れることが可能になる。

【0038】

その後、ステップ201の間に画像自己相関が実行される。再位置合わせが十分良質のものである場合、画像の方向であると特定された2つの特性方向で、糸間距離を直接測定することが可能である。

40

【0039】

図6を参照して述べた画像の再位置合わせと、図2を参照して述べた自己相関画像の特性方向の抽出も、組み合わせることがやはり可能である。

【0040】

本発明は、観察ウィンドウを製織方式が一定のゾーンに適合させ、次いで隣接するゾーン内で再度開始することによって、任意の形状の部品で実行され得る。観察ウィンドウの寸法は、場合によっては、製織の均一なゾーンだけをカバーするために、小さくてよい。最小制限サイズは、当然のことながら、糸間距離によって決まる。

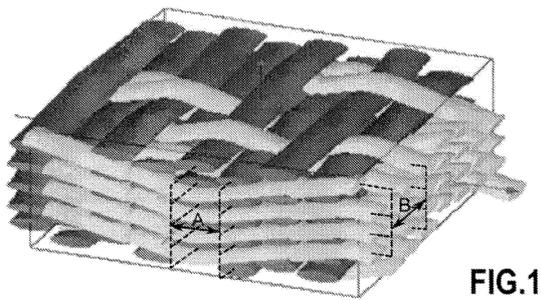
【0041】

本発明は、特定の実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載の範囲の

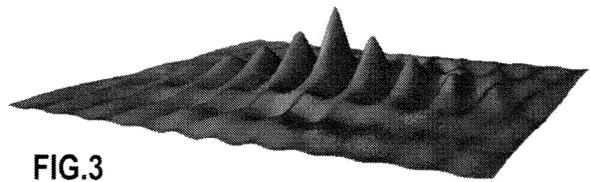
50

文脈における変形形態に及ぶものである。

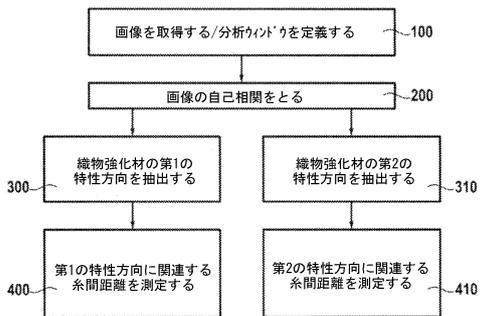
【図1】



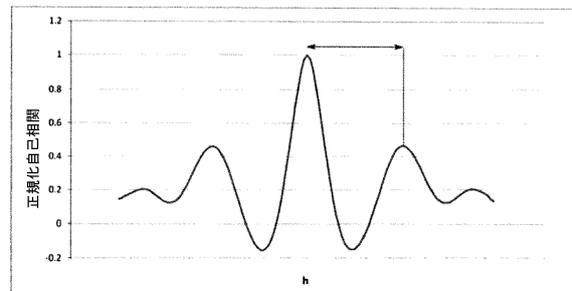
【図3】



【図2】



【図4】



【 図 5 】

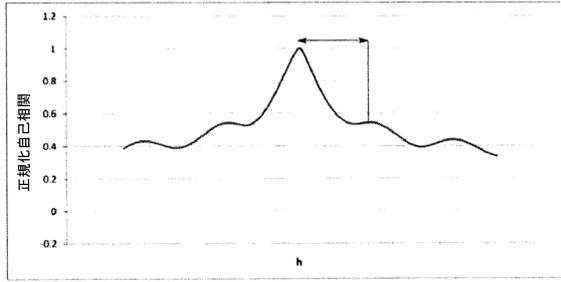


FIG.5

【 図 6 】

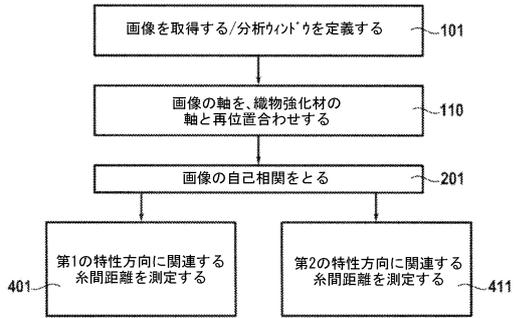


FIG.6

---

フロントページの続き

(72)発明者 トゥレ, ダビド  
フランス国、75012・パリ、リュ・トラベルシエール、55

審査官 佐藤 仁美

(56)参考文献 特開2013-072866(JP, A)  
米国特許出願公開第2011/0274369(US, A1)  
WALD, Michel J. et. al., Spatial autocorrelation and mean intercept length analysis of trabecular bone anisotropy applied to in vivo magnetic resonance imaging, Medical Physics, 2007年3月, Vol. 34, No. 3, March 2007, Pages 1110-1120  
MIKI, T. et. al., Measurement of Textile Structure and Defect Using Laser Speckle, Journal of Textile Engineering, 2006年, Vol. 52, No. 2 (2006), Pages 81-86  
KASTER, J. et. al., Advanced X-ray Tomographic Methods for Quantitative Characterization of Carbon Fibre Reinforced Polymers, Proceedings of 4th International Symposium on NDT in Aerospace 2012, 2012年, We.3. A. 1

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01N 22/00 - 24/14、  
G01R 33/24、33/26 - 33/64