

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6329338号  
(P6329338)

(45) 発行日 平成30年5月23日(2018.5.23)

(24) 登録日 平成30年4月27日(2018.4.27)

(51) Int.Cl.

GO1N 29/14 (2006.01)

F1

GO1N 29/14

請求項の数 15 外国語出願 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2013-93298 (P2013-93298)  
 (22) 出願日 平成25年4月26日 (2013.4.26)  
 (65) 公開番号 特開2013-231721 (P2013-231721A)  
 (43) 公開日 平成25年11月14日 (2013.11.14)  
 審査請求日 平成28年4月13日 (2016.4.13)  
 (31) 優先権主張番号 13/460,000  
 (32) 優先日 平成24年4月30日 (2012.4.30)  
 (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】ステータベースの健全性を監視するためのシステムおよび方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

複数のステータベースを通じて伝播するアコースティックエミッション波を表すアコースティックエミッション(AE)信号を生成するように構成された複数の検知装置と、  
 前記複数の検知装置と操作可能に通信する処理サブシステムと、  
 を備え、

前記処理サブシステムが、

初期閾値および前記AE信号に基づいて動的閾値を生成し、

前記動的閾値に基づいて、前記AE信号内に複数の関心信号が存在するかどうかを決定し、

前記動的閾値に基づいて、前記AE信号から前記複数の関心信号を抽出し、

前記複数の関心信号に対応する1つまたは複数の特徴を決定し、

前記複数のステータベースの健全性を監視および確認するために前記1つまたは複数の特徴を解析し、

前記複数のステータベースのうちの1つまたは複数におけるクラックの長さを決定する

よう構成され、

前記処理サブシステムが、

アコースティックエミッションイベントを特定したとき、前記1つまたは複数の特徴のうちのそれぞれに対応する累積値を初期化するステップと、

10

20

前記 1 つまたは複数の特徴のそれぞれに対応する前記初期化された累積値に基づいて、前記 1 つまたは複数の特徴のそれぞれに対応する最終累積値を生成するステップと、

前記 1 つまたは複数の特徴のそれぞれに対応する前記最終累積値の加重平均を計算するステップと、

前記加重平均を所定の長さにマッピングすることによって、前記クラックの前記長さを決定するステップと、

によって、前記クラックの前記長さを決定するように構成されている、システム。

#### 【請求項 2】

前記処理サブシステムが、前記複数のステータベーンの前記健全性をリアルタイムに監視するように構成されている、請求項 1 に記載のシステム。 10

#### 【請求項 3】

前記複数の検知装置が、前記複数のステータベーンのケーシングの外側表面を横切って、前記外側表面の上に最適に分散されている、請求項 1 または 2 に記載のシステム。

#### 【請求項 4】

前記複数の検知装置が、圧電型検知装置、磁気歪み検知装置、光学式検知装置、アコースティックエミッション検知装置、電波式ワイヤレス検知装置、または、それらの組み合わせを含む、請求項 1 から 3 のいずれかに記載のシステム。

#### 【請求項 5】

前記処理サブシステムが、累積解析技術およびパターン認識技術を使用して、前記 1 つまたは複数の特徴を解析するように構成されている、請求項 1 から 4 のいずれかに記載のシステム。 20

#### 【請求項 6】

前記 1 つまたは複数の特徴が、リングダウンカウント (RDC)、振幅、イベント期間 (ED)、ピーク振幅 (PA)、立ち上がり時間 (RT)、エネルギー、周波数、パワースペクトル密度の周波数分布、アコースティックエミッション特徴、または、それらの組み合わせを含む、請求項 1 から 5 のいずれかに記載のシステム。

#### 【請求項 7】

前記処理サブシステムが、前記動的閾値をリアルタイムに生成する、請求項 1 から 6 のいずれかに記載のシステム。 30

#### 【請求項 8】

複数のステータベーンの健全性を監視する方法であって、

前記複数のステータベーンのうちの 1 つまたは複数を通じて伝播するアコースティックエミッション波を表すアコースティックエミッション (AE) 信号を生成するステップと、

初期閾値および前記 AE 信号に基づいて、動的閾値を生成するステップと、

前記動的閾値に基づいて、複数の関心信号が前記 AE 信号内に存在するかどうかを決定するステップと、

前記動的閾値に基づいて、前記 AE 信号から前記複数の関心信号を抽出するステップと、 40

前記複数の関心信号に対応する 1 つまたは複数の特徴を決定するステップと、

前記複数のステータベーンの前記健全性を監視するために、前記 1 つまたは複数の特徴を解析するステップと、

前記複数のステータベーンのうちの 1 つまたは複数におけるクラックの長さを決定するステップと、

を含み、

前記クラックの前記長さを決定するステップが、

アコースティックエミッションイベントを特定したとき、前記 1 つまたは複数の特徴のうちのそれぞれに対応する累積値を初期化するステップと、

前記 1 つまたは複数の特徴のそれぞれに対応する前記初期化された累積値に基づいて 50

、前記 1 つまたは複数の特徴のそれぞれに対応する最終累積値を生成するステップと、  
前記 1 つまたは複数の特徴のそれぞれに対応する前記最終累積値の加重平均を計算するステップと、  
前記加重平均の値を所定の長さにマッピングすることによって、クラックの長さを決定するステップと、  
を含む、  
方法。

#### 【請求項 9】

前記動的閾値を生成するステップが、  
初期化された動的閾値を生成するために前記動的閾値を初期化するステップと、  
ヒットロックアウト時間に基づいて、前記 A E 信号のうちの 1 つの部分を抽出するステップと、  
前記 A E 信号のうちの 1 つの前記抽出された部分の 2 乗平均平方根値を決定するステップと、  
前記 2 乗平均平方根値と前記初期化された閾値との比較に基づいて、前記動的閾値を更新するステップと、  
を含む、請求項 8 に記載の方法。

#### 【請求項 10】

前記動的閾値を更新するステップが、前記 2 乗平均平方根値と前記初期閾値を加えるステップか、または、A E 信号の抽出された部分に対応する 2 乗平均平方根値と、以前に更新された動的閾値を加えるステップを含む、請求項 9 に記載の方法。 20

#### 【請求項 11】

前記 2 乗平均平方根値と、以前に更新された動的閾値との比較に基づいて、前記動的閾値を更新するステップをさらに含む、請求項 9 または 10 に記載の方法。

#### 【請求項 12】

前記 1 つまたは複数の特徴を解析するステップが、前記 1 つまたは複数の特徴の累積解析を含む、請求項 8 から 11 のいずれかに記載の方法。

#### 【請求項 13】

前記 1 つまたは複数の特徴を解析するステップが、前記 1 つまたは複数の特徴と対応する閾値を比較するステップを含む、請求項 8 から 12 のいずれかに記載の方法。 30

#### 【請求項 14】

前記アコースティックエミッショニメントが、前記複数のステーターベーンのうちの前記 1 つまたは複数における異常、クラック、または初期クラックの検出を含む、請求項 8 から 13 のいずれかに記載の方法。

#### 【請求項 15】

前記最終累積値を生成するステップが、その後のアコースティックエミッショニメントを特定したとき、前記 1 つまたは複数の特徴のそれぞれに対応する前記累積値を、所定の時間まで反復して更新するステップを含む、請求項 8 から 14 のいずれかに記載の方法。  
。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【技術分野】

##### 【0001】

本開示は、一般に、固定ブレードまたはステーターベーンの健全性を監視するためのシステムおよび方法に関する。

##### 【背景技術】

##### 【0002】

ガスタービンは、前部に軸流圧縮機、中間部の周りに 1 つまたは複数の燃焼器、後部にタービンを含むことができる。一般に、軸流圧縮機は、一連の段を有しており、それぞれの段は、ロータブレードまたはエーロフォイルの列を含み、その後に、静止ブレードまた

は静止エーロフォイルの列が続く。したがって、それぞれの段は、一対のロータブレードまたはエーロフォイル、および静止エーロフォイルを含む。一般に、ロータブレードまたはエーロフォイルは、入口部を通して軸流圧縮機に進入する流体の運動エネルギーを増加させる。さらに、静止ブレードまたは静止エーロフォイルは、概して、高い流体の運動エネルギーを拡散によって静圧に変換する。したがって、ロータブレードまたはエーロフォイル、および静止エーロフォイルは、流体の圧力を増加させる重要な役割を果たしている。

#### 【 0 0 0 3 】

さらに、エーロフォイルを含む軸流圧縮機の応用分野が多種多様であるため、ロータブレードまたはエーロフォイル、および静止エーロフォイルは重要である。軸流圧縮機は、10 例えば、陸上ガスタービン、ジェットエンジン、高速船舶エンジン、小規模発電所など、多数の装置内で使用することができる。さらに、軸流圧縮機は、大容量空気分離プラント、高炉空気、流動式接触分解空気、プロパン脱水素など、様々な応用分野に使用することができます。

#### 【 0 0 0 4 】

周囲環境の湿気 / 湿度、高温などが、様々なエーロフォイルおよびガスタービンの内部の他の構造体の腐食につながる。これは、タービンの運転中の低サイクル疲労および高サイクル疲労と組み合わせられて、特に、異常共振または異物衝突に起因して極端な応力を受ける場合に、応力腐食割れにつながる。さらに、エーロフォイルは、エーロフォイルの健全性に影響を与える高い速度、圧力、および温度など、極端な様々な運転条件のもとで作動する。極端な様々な条件に加えて、特定の他の要因が、エーロフォイルの疲労および応力につながる。これらの要因は、例えば、遠心力を含む慣性力、圧力、エーロフォイルの共振周波数の励振、エーロフォイルの振動、振動応力、熱応力、エーロフォイルのレシート (reseating)、ガスまたは他の流体の負荷などを含むことができる。20 長い期間にわたる応力および疲労の長期的増加は、エーロフォイル内の欠陥およびクラックにつながる。クラックのうちの1つまたは複数が、時間とともに拡幅し、エーロフォイル、または、エーロフォイルの一部分の脱落を引き起こすおそれがある。エーロフォイルの脱落は、エーロフォイルを含む装置にとって危険であり、したがって、巨大な金銭的損失につながる可能性がある。さらに、装置の近くの人々にとって安全でない環境を生み出し、重大な傷害を引き起こすおそれがある。

#### 【 0 0 0 5 】

従来のシステムおよび方法は、圧縮機およびエーロフォイルの性能および運転を監視するためにある。例えば、振動センサを使用し、運転中の圧縮機およびエーロフォイルからの振動を監視することができる。今ある振動の周波数または大きさの変化は、過剰な摩耗および / またはクラック形成を示す可能性がある。しかし、振動センサは、圧縮機内にアンバランスおよび振動を生じさせるのに十分な大きさのクラックおよび他の異常を検出することしかできない。その結果、振動センサは、ステータベーン内の検出可能な振動は引き起こさない小さいクラックを検出することができない。したがって、エーロフォイルの健全性を監視する本システムおよび方法を開発することが非常に望ましい。

#### 【 発明の概要 】

#### 【 0 0 0 6 】

複数のステータベーンを通じて伝播するアコースティックエミッション波を表すアコースティックエミッション (A E) 信号を生成するように構成された複数の検知装置を含むシステムが提供される。システムは、複数の検知装置と操作可能に通信する処理サブシステムをさらに含み、処理サブシステムが、初期閾値および A E 信号に基づいて動的閾値を生成し、動的閾値に基づいて、A E 信号内に複数の関心信号が存在するかどうかを決定し、動的閾値に基づいて、A E 信号から複数の関心信号を抽出し、複数の関心信号に対応する1つまたは複数の特徴を決定し、複数のステータベーンの健全性を監視および確認するために1つまたは複数の特徴を解析するように構成されている。

#### 【 0 0 0 7 】

10

20

30

40

50

複数のステータベーンの健全性を監視する方法が提供される。方法は、複数のステータベーンのうちの1つまたは複数を通って伝播するアコースティックエミッション波を表すアコースティックエミッション(AE)信号を生成するステップと、初期閾値およびAE信号に基づいて、動的閾値を生成するステップと、動的閾値に基づいて、複数の関心信号がAE信号内に存在するかどうかを決定するステップと、動的閾値に基づいて、AE信号から複数の関心信号を抽出するステップと、複数の関心信号に対応する1つまたは複数の特徴を決定するステップと、複数のステータベーンの健全性を監視するために、1つまたは複数の特徴を解析するステップとを含む。

#### 【0008】

本発明のこれらの特徴、態様、および利点、ならびに、他の特徴、態様、および利点は、添付の図面を参照して、以下の詳細な説明を読めば、より良く理解されるであろう。図面では、同様の文字は、図面を通して、同様の部分を表している。

10

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0009】

【図1】本システムの特定の態様による、ステータベーンの健全性を監視するための例示的なシステムの線図である。

【図2】本システムの別の実施形態による、ステータベーンの健全性を監視するためのシステムの線図である。

【図3】本技術の実施形態による、ステータベーンの健全性を監視するための例示的なフロー図である。

20

【図4】本技術の実施形態による、動的閾値を決定するための例示的なフロー図である。

【図5A】一実施形態にしたがってAE信号の例示的なプロファイルから関心信号を抽出することを示す図である。

【図5B】一実施形態にしたがってAE信号の例示的なプロファイルから関心信号を抽出することを示す図である。

【図6】本技術の一実施形態にしたがって、特徴の累積解析を説明するために、特徴および期間の例示的な値のグラフィック表示である。

【図7】本技術の実施形態による、特徴の解析を示す例示的なフロー図である。

【図8】本技術の実施形態による、ステータベーン内のクラックの長さを決定することを示す例示的なフロー図である。

30

【図9】複数のステータベーンの間でクラックの場所を決定することを示す例示的なフロー図である。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0010】

図1は、本システムの特定の態様による、ステータベーン12の健全性を監視するための例示的なシステム10の線図である。ステータベーン12の健全性を監視することは、例えば、クラックの発生を予測すること、および、1つまたは複数のステータベーン12内のクラックを決定することを含む。一実施形態では、ステータベーン12の健全性を監視することは、1つまたは複数のステータベーン12のクラックの長さを決定することを含む。別の実施形態では、ステータベーン12の健全性を監視することは、ステータベーン12の残りの有効寿命を決定することを含む。本方法およびシステムは、ステータベーンの健全性を監視することを示しているが、本方法およびシステムは、固定ブレードの健全性を監視するために使用することができるということに留意されたい。

40

#### 【0011】

企図されている本構成に示されているように、システム10は、軸流圧縮機14を含む。軸流圧縮機14は、複数の列の回転ブレード16、および、複数の列のステータベーン12を含む。複数の列の回転ブレード16のそれぞれは、ステータベーン12の列のそれぞれに対して交互に位置付けられており、逆の場合も同様である。システム10は、複数の検知装置18、20をさらに含み、検知装置18、20は、複数の列の回転ブレード16および複数の列のステータベーン12を覆うケーシング17の外側表面の上に分散配置

50

されている。検知装置 18、20 は、応力波を電気信号 22、24 にそれぞれ変換する磁気歪み材料検知装置、圧電型検知装置、容量式検知装置を含むことができる。検知装置 18、20 は、例えば、光学式検知装置、アコースティックエミッショニン検知装置、電波式ワイヤレス検知装置などであることが可能である。

#### 【0012】

本システム 10 は、2つの検知装置 18、20 を示しているが、システム 10 は、軸流圧縮機 14 のサイズに基づいて、および、ステータベーン 12 の監視において期待される精度に基づいて、最適な数の検知装置を含むことができるということに留意されたい。ケーシング 17 の外側表面の上の複数の検知装置 18、20 の場所は、三角測量技術を使用して決定される。三角測量技術は、検知装置 18、20 にとって最適な場所を特定するのに役立つ。本明細書で使用されているように、「検知装置にとって最適な場所」の用語は、本明細書で、軸流圧縮機のケーシングの外側表面の上の複数の検知装置の分布に関する場所を参照しており、ステータベーン 12 のそれぞれによって生成された AE 波が、複数の検知装置 18、20 によって獲得されるようになっている。10

#### 【0013】

ステータベーン 12 のうちの 1 つまたは複数が、応力を受けた状態で、または、特徴的でない運転条件で運転されているとき、ステータベーン 12 のうちの 1 つまたは複数が、アコースティックエミッショニン (AE) 波を生成する。AE 波は、ステータベーン 12 とケーシングとの間の異なる境界面を通って進行し、ケーシングの外側表面に到達する。これらの AE 波が、ケーシングの外側表面に到達すると、検知装置 18、20 が、AE 波を測定し、AE 信号 22、24 を生成する。AE 信号 22、24 のそれぞれは、時系列的な電圧の信号である。図 1 によって示されているように、検知装置 18 が、AE 信号 22 を生成し、検知装置 20 が、AE 信号 24 を生成する。AE 信号 22、24 の周波数範囲は、約 100 kHz から約 450 kHz まで様々である。20

#### 【0014】

さらに、システム 10 は、検知装置 18、20 から AE 信号 22、24 を受信する処理サブシステム 26 を含む。処理サブシステム 26 は、マイクロプロセッサ、コプロセッサ、および / または、データを記憶し、ソフトウェア命令を記憶し、かつ / もしくは、ソフトウェア命令を実行するメモリ / 媒体エレメントなど様々なコンポーネントを含むことができる。様々なメモリ / 媒体エレメントは、それに限定されないが、揮発性メモリ (例えば、RAM、DRAM、SRAM など)、不揮発性メモリ (例えば、フラッシュドライブ、ハードドライブ、磁気テープ、CD-ROM、DVD-ROM など)、および / または、他のメモリ装置 (例えば、ディスクケット、磁気ベースの記憶媒体、光学式記憶媒体など) の任意の組み合わせなど、1 つまたは複数の種類のコンピュータ可読媒体であることが可能である。任意の可能な種類のデータ記憶および処理の構成が、当業者によって認識されるであろう。30

#### 【0015】

企図されている本構成では、処理サブシステム 26 が、AE 信号 22、24 を受信する。特定の実施形態では、AE 信号 22、24 は、処理サブシステム 26 に到達する前に、中間装置によって前処理されてもよい。例えば、中間装置は、增幅器、インターフェースユニット、データ収集システムなどを含むことができる。AE 信号 22、24 が処理サブシステム 26 によって受信される前に、初期処理が、AE 信号 22、24 の強度および質を向上させる。処理サブシステム 26 に到達する前に AE 信号 22、24 が前処理される本システムおよび技術の実施形態が、図 2 を参照して説明されている。40

#### 【0016】

処理サブシステム 26 が、検知装置 18、20 から AE 信号 22、24 をリアルタイムに受信する。処理サブシステム 26 が、ステータベーン 12 の健全性を監視するために AE 信号 22、24 を処理する。一実施形態では、処理サブシステム 26 は、軸流圧縮機 14 の場所に対して遠隔に位置付けられている。実施形態では、処理サブシステム 26 が、軸流圧縮機 14 の場所に対して遠隔に位置付けられている場合、処理サブシステム 26 が50

、人間の干渉なしに、リアルタイムに、ステータベーン12の健全性を遠隔から監視することが可能である。したがって、処理サブシステム26は、自動的に、ステータベーン12の健全性をリアルタイムに監視する。別の実施形態では、処理サブシステム26は、圧縮機14の近辺に位置付けられることが可能である。

#### 【0017】

A E信号22、24の処理は、例えば、A E信号22、24に対応する特徴を決定するステップを含み、その後に特徴の解析が続く。一実施形態では、特徴は、例えば、時間領域特徴および周波数領域特徴を含む。時間領域特徴は、例えば、リングダウンカウント(RDC)、振幅、イベント期間(ED)、ピーク振幅(PA)、立ち上がり時間(RT)、エネルギーなどを含む。本明細書で使用されているように、「リングダウンカウント」の用語は、アコースティックエミッション信号が動的閾値を越える回数を示すために使用されている。本明細書で使用されているように、「イベント期間」の用語は、アコースティックエミッション信号が動的閾値を越える最初の瞬間と、アコースティックエミッション信号が動的閾値を越える最後の瞬間との間の期間を示すために使用されている。本明細書で使用されているように、「立ち上がり時間」の用語は、アコースティックエミッション波が、最初の閾値越えから所与の波形内のピーク振幅まで進行するのにかかる時間を示すために使用されている。周波数領域特徴は、例えば、A E信号22、24のパワースペクトル密度の周波数分布、これらの分布の変化、ウェーブレットなどを含むことができる。先に述べられているように、特徴の決定の後に、特徴の解析が続く。特徴の解析は、例えば、累積データ解析技術を使用して実施することができる。A E信号22、24の処理、および、特徴の解析は、図3を参照して詳細に説明されるものとする。10

#### 【0018】

図2は、本システムの別の実施形態による、ステータベーン12の健全性を監視するためのシステム100の線図である。とりわけ、図2は、A E信号が処理サブシステムに到達する前に中間装置によってA E信号を前処理することを図示している。システム100は、圧縮機102のケーシングの外側表面の上に取り付けられた複数の検知装置18、20を含む。検知装置18、20は、圧縮機102内のステータベーン12のうちの少なくとも1つの中の応力波を表すA E信号104を生成する。企図されている本構成では、検知装置18、20は、増幅装置106に物理的に連結されている。企図されている本構成では、増幅装置106は、圧縮機102内のターピン区画110内に位置付けられている。代替的な実施形態では、増幅装置106は、ターピン区画110の外側に位置付けられることが可能である。増幅装置106は、高温ケーブルを介して、検知装置18、20に物理的に連結されてもよい。増幅装置106は、A E信号104の強度を向上させるためにA E信号104を増幅させる。A E信号104の増幅の結果、増幅されたA E信号108が生成される。20

#### 【0019】

図2に示されているように、システム100は、データ収集システム(DAQ)111をさらに含む。図2に示されているように、DAQ111は、増幅装置106に操作可能に連結されている。DAQ111は、増幅されたA E信号108を受信し、増幅されたA E信号108をA Eデータ112に変換する。一実施形態では、DAQ111は、増幅されたA E信号108をA Eデータ112に変換する前に、増幅されたA E信号108からノイズを除去することが可能である。システム100は、第1の処理サブシステム114をさらに含む。第1の処理サブシステム114は、DAQ111に操作可能に関連付けることができる。特定の実施形態では、第1の処理サブシステム114は、低温ワイヤを介して、DAQ111に物理的に接続されてもよい。一実施形態では、第1の処理サブシステム114は、DAQ111の近辺に位置付けられている。別の実施形態では、DAQ111は、第1の処理サブシステム114の一部であることが可能である。代替的な実施形態では、第1の処理サブシステム114が、DAQ111の機能を実施することが可能であり、したがって、DAQ111は、システム100内に存在しないことがある。40

#### 【0020】

50

第1の処理サブシステム114は、DAQ111からAEデータ112を受信し、AEデータ112を処理することによって、ステータベーン12の健全性をリアルタイムに監視する。第1の処理サブシステム114は、AEデータ112に対応する特徴を決定するためにAEデータ112を処理する。特徴は、例えば、リングダウンカウント(RDC)、振幅、イベント期間(ED)、ピーク振幅(PA)、立ち上がり時間(RT)、エネルギー、パワースペクトル密度の周波数分布、周波数などを含むことができる。その後、第1の処理サブシステム114が、ステータベーン12の健全性を監視するために特徴を解析する。システム100は、圧縮機102および第1の処理サブシステム114の場所に対して遠隔地に位置付けられた第2の処理サブシステム116をさらに含む。第2の処理サブシステム116は、第1の処理サブシステムに操作可能に関連付けされている。一実施形態では、第2の処理サブシステム116は、ワイヤレス媒体またはワイヤード媒体を介して、第1の処理サブシステム114に接続されてもよい。

## 【0021】

第2の処理サブシステム116は、ユーザが第1の処理サブシステム114にアクセスすることを可能にするように構成されている。したがって、第2の処理サブシステム114は、ステータベーン12の健全性を監視するために、遠隔地からユーザによって使用することができる。とりわけ、第2の処理サブシステム116は、ユーザが、監視結果および中間処理結果、ならびに、第1の処理サブシステム114によって生成された特徴の解析に関連する結果を検討することを可能にする。

## 【0022】

図3は、本技術の実施形態による、ステータベーンの健全性を監視するための例示的なフロー図300である。図3に示されているように、方法は、AE信号が収集されるステップ302から始まる。AE信号は、図1および図2で参照されているように、アコースティックエミッション(AE)信号22、24、104であることが可能である。AE信号は、例えば、図1および図2で参照されているように、複数の検知装置18、20によって収集されてもよい。AE信号の周波数範囲は、約100kHzから約450kHzまで様々である。さらに、ステップ304において、AE信号は、処理サブシステム26、第1の処理サブシステム114、または第2の処理サブシステム116など、処理サブシステムに送信されてもよい。

## 【0023】

ステップ306において、AE信号は、処理サブシステムによって受信される。特定の実施形態では、ステップ304と306との間ににおいて、AE信号は、增幅装置、データ収集装置など、中間装置によって前処理されてもよいということに留意されたい。前処理することは、AE信号の強度および質を向上させる。その後、ステップ308において、AE信号に対応する動的閾値を、AE信号および初期閾値を利用して決定することができる。本明細書で使用されているように、「動的閾値」の用語は、アコースティックエミッションイベントを特定するためにリアルタイムに決定される閾値を示す。アコースティックエミッションイベントは、例えば、クラック、異常、初期クラックなどを含むことができる。動的閾値は、例えば、処理サブシステム26、第1の処理サブシステム114、または第2の処理サブシステム116によって決定することができる。特定の実施形態では、動的閾値は、DAQ111によって決定することができる。AE信号および初期閾値を利用して動的閾値を決定することは、図4を参照して詳細に説明されている。

## 【0024】

動的閾値の決定に続いて、ステップ312において、AE信号が1つまたは複数の関心信号を含むかどうかを確かめるために、チェックが行われる。とりわけ、AE信号の1つまたは複数の部分が動的閾値を超えるかどうかを確かめることによって、チェックが行われる。チェックは、AE信号を動的閾値と比較することによって行われる。ステップ312において、AE信号の1つまたは複数の部分が動的閾値を超えたことが確かめられた場合、制御が、ステップ314に移される。ステップ314において、少なくとも1つの関心信号が、AE信号から抽出される。一実施形態では、関心信号は、AE信号が動的閾値

10

20

30

40

50

を超える最初の瞬間に始まって所定の期間までの A E 信号の部分を切り取ることによって抽出される。本明細書で使用されているように、「関心信号」の用語は、動的閾値に基づいて抽出された A E 信号の部分を示す。動的閾値に基づく関心信号の抽出は、クラック伝播 / 発生または異常に起因して生成された A E 信号を、圧縮機またはタービンの運転中に発生した運転ノイズに起因して生成された A E 信号から識別することを助ける。一実施形態にしたがって A E 信号から関心信号を抽出することが、図 5 A および図 5 B において、より詳細に説明されている。

#### 【 0 0 2 5 】

ここで図 5 A および図 5 B を見てみると、これらの図は、一実施形態にしたがって、A E 信号 5 0 2 の例示的なプロファイル 5 0 0 から関心信号を抽出することを示している。  
とりわけ、図 5 A および図 5 B は、図 3 におけるステップ 3 1 4 をより詳細に説明している。X 軸 5 0 4 は、時間を表しており、Y 軸 5 0 6 は、電圧を表している。符号 5 0 8 は、関心信号 5 1 0 を抽出するために使用される動的閾値を表している。企図されている本構成で示されているように、A E 信号 5 0 2 は、場所 5 1 2 における最初の瞬間において、動的閾値 5 0 8 を超えている。さらに、A E 信号 5 0 2 は、場所 5 1 4 まで動的閾値を超えている。それに応じて、場所 5 1 2 から始まって場所 5 1 4 までの動的閾値 5 0 8 を超えない A E 信号 5 0 2 の部分は抽出されない。A E 信号 5 0 2 の部分の抽出は、結果的に関心信号 5 1 0 をもたらす。

#### 【 0 0 2 6 】

図 3 に戻って参考すると、ステップ 3 1 4 において、関心信号が、A E 信号から抽出される。関心信号の抽出に続いて、ステップ 3 1 6 において、関心信号のそれぞれに対応する 1 つまたは複数の特徴が決定される。特徴は、例えば、リングダウンカウント (R D C) 、振幅、イベント期間 (E D) 、ピーク振幅 (P A) 、立ち上がり時間 (R T) 、エネルギー、パワースペクトル密度の周波数分布、周波数などを含むことができる。さらに、ステップ 3 1 8 において、1 つまたは複数の特徴が、ステータベーンの健全性を監視するために解析される。例えば、1 つまたは複数の特徴は、ステータベーン内の異常、クラック、または初期クラックを決定するために解析される。特徴は、例えば、累積解析技術を使用することによって解析される。例示的な振幅の累積解析が、図 6 に示されている。

#### 【 0 0 2 7 】

ここで図 6 を見てみると、イベント期間に関してプロットされた特徴の例示的な値のグラフィック表示 6 0 0 が、本技術の一実施形態にしたがって、特徴の累積解析を説明するために示されている。グラフィック表示 6 0 0 は、実験的な値を含まず、例示的な値を示しているということに留意されたい。企図されている本例では、振幅の値が、特徴の累積解析を示すために使用されている。企図されている本構成では、X 軸 6 0 2 は、イベント期間をミリ秒で表わしており、Y 軸 6 0 4 は、振幅を表している。例示的な目的のために、振幅の値は、3 つの集団 6 0 6 、 6 0 8 、 6 1 0 に集合させているものとして示されている。振幅の値は、例えば、k 最近傍アルゴリズムなどパターン認識アルゴリズムを使用して、3 つの集団 6 0 6 、 6 0 8 、 6 1 0 に集合させることができる。3 つの集団 6 0 6 、 6 0 8 、 6 1 0 は、振幅の値を集合させることができる 3 つの異なるシナリオを示している。例えば、集団 6 0 6 は、短いイベント期間に対して、高い振幅を示している。イベント期間に対して高い振幅を示すそのような集団 6 0 6 は、A E 信号内のノイズを表わしていると特徴付けられることができると可能である。集団 6 0 8 は、より大きいイベント期間に対して、中位の振幅を示している。そのような集団 6 0 8 は、ラビングを表していると特徴付けられることができると可能である。さらに、集団 6 1 0 は、中位の振幅、および、さらに大きいイベント期間を示しており、したがって、ステータベーン内の異常として特徴付けられることができると可能である。そのような集団 6 1 0 は、ステータベーン内のクラックを表していると特徴付けられることができると可能である。したがって、本技術の一実施形態によれば、A E 信号に対応する振幅の値が、中位の振幅およびより大きいイベント期間を有する集団の形成を結果的にもたらす場合、1 つまたは複数のステータベーンがクラックを有するということが推定され得る。

10

20

30

40

50

**【 0 0 2 8 】**

図3に戻ると、特定の実施形態では、ステップ318において、特徴のうちの1つまたは複数を、決定された対応する閾値と比較することによって、特徴を解析することができる。例えば、ステータベーン内の異常を決定するために、特徴振幅を振幅閾値と比較することができる。本明細書で使用されているように、「振幅閾値」の用語は、ステータベーン内の異常、初期クラック、またはクラックを決定するために使用することができる、振幅のベンチマーク値を示す。例えば、振幅の値が、決定された振幅閾値の値を超える場合、それは、ステータベーン内のクラックを示している可能性がある。一実施形態による特徴の解析は、図7を参照して詳細に説明されている。

**【 0 0 2 9 】**

その後、ステップ320において、異常、初期クラック、またはクラックがステータベーン内に存在するかどうかを決定するために、チェックを行うことができる。チェックは、例えば、特徴の解析に基づいて行うことができる。ステップ320において、異常、初期クラック、またはクラックがステータベーン内に存在することが確かめられた場合、制御が、ステップ322に移される。特定の実施形態では、ステップ322において、クラックの場所および長さを決定することができる。特定の実施形態では、322において、ステータベーンの残りの寿命を決定することができる。ステータベーンの残りの寿命は、例えば、決定されたクラックの長さを、所定の運転条件において、その最大クラック長さに到達することとなるときを特定することによって、決定することができる。本明細書で使用されているように、「最大クラック長さ」の用語は、限界クラック長さを示すために使用することができ、限界クラック長さを超えると、クラック長さの増加が、ステータベーンの脱落につながることとなる。クラックの長さを決定することは、図8を参照して詳細に説明されることとなる。クラックの場所を決定することは、図9を参照して詳細に説明されている。

**【 0 0 3 0 】**

さらに、ステップ324において、アラームを発することができる。アラームは、異常の深刻度またはクラックの長さに基づいて、様々な範疇のアラームを含むことができる。例えば、一実施形態では、特徴の解析がステータベーン内の大きいクラックを示した場合、次いで、アラームを赤色にすることができる。しかし、別の実施形態では、特徴の解析が、クラックではない異常を示し、次いで、アラームを黄色のアラームにすることができる。特定の実施形態では、特徴の解析が、異常、初期クラック、またはクラックを示さなかった場合、次いで、アラームを緑色のアラームにすることができる。しかし、一実施形態では、特徴の解析が、異常、初期クラック、またはクラックを示さなかった場合、次いで、制御をステップ302に移すことができる。ステップ312に戻って参照すると、関心信号が存在しないことが決定された場合、次いで、制御が、ステップ310に移される。ステップ310において、関心信号は存在しないということを宣言することができる。

**【 0 0 3 1 】**

図4は、本技術の実施形態による、動的閾値を決定するための例示的なフロー図400である。一実施形態では、図4は、図3におけるステップ308をより詳細に説明している。図4に示されているように、符号402は、初期閾値を表しており、符号404は、動的閾値を表している。初期閾値402は、歴史的経験、圧縮機およびタービンの具体的なモデル、前置増幅器構成、監視されることとなるステータベーンを含むタービン内の運転条件およびノイズなどに基づいて、ユーザによって予め設定される。ステップ406において、動的閾値は、「ヌル（N u l l ）」に初期化される。その後、ステップ408において、A E信号410を受信することができる。A E信号410は、例えば、図1および図2で参照されたA E信号22、24、104と同様である。一実施形態では、A E信号410は、図3のステップ302において生成されたA E信号のうちの1つであることが可能である。

**【 0 0 3 2 】**

ステップ412において、動的閾値がヌルに等しいかどうかを決定するために、チエッ

10

20

30

40

50

クが行われる。チェックは、図4で説明された方法400が、初めて実行されるか、または、以前に実行されたかについて決定する。換言すれば、動的閾値がヌルに等しい場合、方法400は初めて実行されるということを推定することが可能である。ステップ412において、動的閾値がヌルに等しいということが確かめられた場合、制御が、ステップ414に移される。ステップ414において、初期閾値402の値が、動的閾値404に割り当てられる。しかし、ステップ412において、動的閾値404がヌルに等しくないということが決定された場合、制御が、ステップ416に移される。ステップ416において、AE信号410の一部分が抽出される。AE信号410の一部分が、ヒットロックアウト時間(hit lockout time)(HLT)418に基づいて抽出される。とりわけ、AE信号410の一部分は、HLT418が終了するまで抽出される。本明細書で使用されているように、「ヒットロックアウト時間」の用語は、ユーザによって予め決定された、AE信号が抽出されるときまでの期間を示すために使用されている。例えば、HLT418が1ミリ秒であるとき、次いで、AE信号410の一部分が、AE信号410の始まりから始まって1ミリ秒まで抽出される。  
10

#### 【0033】

ステップ420において、抽出されたAE信号の2乗平均平方根値(RMS)を、決定することができる。さらに、ステップ422において、抽出されたAE信号のRMS値が、動的閾値404よりも大きいかどうかを決定するために、チェックが行われる。抽出されたAE信号内のノイズの量が、以前に抽出されたAE信号内のノイズに対して変化した場合、抽出されたAE信号のRMS値が、動的閾値よりも大きくなる可能性がある。ステップ422において、抽出されたAE信号のRMS値が動的閾値よりも大きいということが決定された場合、制御が、ステップ424に移される。ステップ424において、抽出されたAE信号のRMS値が、動的閾値404に加えられ、第1の値が生成される。第1の値の生成に続いて、ステップ426において、動的閾値404が第1の値に等しくされる。換言すれば、動的閾値404が、第1の値に同等の値を有するように更新される。  
20

#### 【0034】

図7は、本技術の実施形態による、特徴702の解析を示す例示的なフロー図700である。符号702は、AE信号から抽出された関心信号に対応する特徴を表している。図1および図3を参照して先に述べられているように、特徴702は、例えば、リングダウンカウント(RDC)、振幅、イベント期間(ED)、ピーク振幅(PA)、立ち上がり時間(RT)、エネルギー、パワースペクトル密度の周波数分布、周波数などを含むことができる。企図されている本構成では、振幅、エネルギー、およびイベント期間を含む特徴702が解析される。また、符号703は、圧縮機またはタービンの運転条件を表している。運転条件は、例えば、入口ガイドステータベーン(IGV)角度、負荷変動、ブレードのレシート、非同期振動、同期振動、速度の変動、温度、速度などを含むことができる。ステップ705において、特徴閾値は、運転条件703に基づいて決定することができる。本明細書で使用されているように、「特徴閾値」の用語は、ステータベーン内の異常、初期クラック、またはクラックを決定するために使用することができる、特徴のベンチマーク値を示す。図7では、振幅閾値、エネルギー閾値、およびイベント期間閾値を含む特徴閾値が、それぞれ、振幅、エネルギー、およびイベント期間を含む特徴を解析するために使用される。企図されている本構成は、特徴振幅、エネルギー、およびイベント期間の解析を示しているが、他の特徴を、方法700を使用して解析することができることに留意されたい。  
30

#### 【0035】

図7で示されているように、ステップ704において、振幅の値が、振幅閾値の値よりも大きいかどうかを決定するために、チェックが行われる。本明細書で使用されているように、「振幅閾値」の用語は、ステータベーン内の異常、初期クラック、またはクラックを決定するために使用することができる、振幅のベンチマーク値を示す。振幅の値が振幅閾値よりも大きい場合、それは、ステータベーン内の異常、初期クラック、またはクラックを示す可能性があるということに留意されたい。ステップ704において、振幅の値が  
40

振幅閾値よりも大きいということが確かめられた場合、制御をステップ706に移すことができる。しかし、ステップ704において、振幅が振幅閾値よりも大きくないということが確かめられた場合、次いで、制御が、ステップ710に移される。

#### 【0036】

ステップ706において、エネルギーがエネルギー閾値よりも大きいかどうかを確かめるために、チェックが行われる。本明細書で使用されているように、「エネルギー閾値」の用語は、ステータベーン内の異常、初期クラック、またはクラックを決定するために使用することができる、エネルギーのベンチマーク値を示す。ステップ706において、エネルギーがエネルギー閾値よりも大きいということが確かめられた場合、次いで、制御が、ステップ708に移される。振幅の値がエネルギー閾値よりも大きい場合、それは、ステータベーン内の異常、初期クラック、またはクラックを示す可能性があるということに留意されたい。しかし、ステップ706において、エネルギーの値がエネルギー閾値よりも大きくないということが確かめられた場合、次いで、制御が、ステップ710に移される。

10

#### 【0037】

ステップ708において、イベント期間がイベント期間閾値よりも大きいかどうかを確かめるために、チェックが行われる。本明細書で使用されているように、「イベント期間」の用語は、アコースティックエミッション信号が動的閾値を越える最初の瞬間と、アコースティックエミッション信号が動的閾値を越える最後の瞬間との間の期間を示す。さらに、本明細書で使用されているように、「イベント期間閾値」の用語は、本明細書で、ステータベーン内の異常、初期クラック、またはクラックを決定するために使用することができる、イベント期間のベンチマーク値を示すために使用されている。ステップ708において、イベント期間の値がイベント期間閾値よりも大きいということが確かめられた場合、次いで、制御が、ステップ712に移される。ステップ712において、異常、クラック、または初期クラックが存在するということを宣言することができる。

20

#### 【0038】

ステップ710に戻って参照すると、特徴702のうちの1つまたは複数は、対応する1つまたは複数の集団に分類することが可能である。一実施形態では、特徴702のそれを、集団に分類することができる。一実施形態では、特徴「振幅」が集団に分類される場合、次いで、集団は、図6を参照して説明された集団606、608、610と同様であることが可能である。特徴「振幅」の集団は、例えば、振幅に関して、集団606、608、610と同様である。例えば、特徴702のそれぞれは、パターン認識技術を使用して、集団に分類することができる。パターン認識技術は、例えば、k最近傍技術などを含むことができる。

30

#### 【0039】

ステップ714において、集団が、背景ノイズ、電気的ノイズ、または、こすれを表すかどうかを決定するために、チェックが行われる。ステップ714において、集団が、背景ノイズ、電気的ノイズ、または、回転部に起因するこすれを表すということを決定した場合、次いで、制御をステップ720に移すことができる。ステップ720において、方法700の実行が停止される。しかし、ステップ714において、集団が、背景ノイズ、電気的ノイズ、または、こすれを表さないということが決定された場合、次いで、制御が、ステップ712に移される。先に述べられているように、ステップ712において、異常、クラック、または初期クラックが存在するということを宣言される。

40

#### 【0040】

図8は、本技術の実施形態による、ステータベーン内のクラックの長さを決定することを示す例示的なフロー図800である。ステップ802において、それぞれの特徴に対応する累積値を初期化することができる。累積値は、例えば、アコースティックエミッションイベントが検出される最初の瞬間ににおいて、初期化することができる。アコースティックエミッションイベントは、例えば、ステータベーン内の異常の検出、クラックの検出、または、初期クラックの検出を含むことができる。例えば、振幅に対応する累積値を、「

50

ヌル」と等しくなるように初期化することができる。また、別の実施形態では、振幅に対応する累積値は、最初の A E イベントが検出される瞬間ににおける振幅の値と等しくなるように初期化することができる。

#### 【0041】

ステップ 804において、それぞれの A E 特徴に対応する累積値を、その後の A E イベントを特定したとき、反復して更新することができる。したがって、方法 800 の最初の反復において、それぞれの A E 特徴の初期化された累積値は、A E イベントを特定したとき、対応する特徴の値に加えることができる。例えば、特徴 F に対応する、初期化された累積値が、「a」と等しいとする。さらに、その後の A E イベントが検出された場合、特徴振幅の値は、a 1 であり、次いで、累積値は、「a + a 1」に等しい値に更新することができる。同様に、特徴に対応する更新された累積値が、反復 I において、a 1 であり、かつ、反復 I + 1 において、特徴の値が a 2 である場合、次いで、その特徴に対応する、更新された累積値は、a 1 + a 2 に更新することができる。ステップ 804 は、所定の時間まで反復されてもよいことに留意されたい。所定の時間までステップ 804 を実行した結果、それぞれの特徴に対応する最終更新された累積値が決定される。その後、ステップ 806において、最終更新された累積値の加重平均を決定することができる。加重平均は、例えば、それぞれの特徴に割り当てられた所定の重み 810 に基づいて、決定することができる。本明細書で使用されているように、「特徴の重み」の用語は、それぞれの特徴に割り当てられる重要度を示すために使用されている。その後、ステップ 808において、クラックのマップ 812 内のクラック長さにマップすることが可能である。クラックのマップは、クラック長さにマップされた加重平均値を含む。加重平均値に対するクラック長さのマッピングの結果、クラックの長さが決定される。10

#### 【0042】

図 9 は、複数のステータベーン 12 の間でクラックの場所を決定することを示す例示的なフロー図である。図 9 に示されているように、ステップ 902において、検知装置が、基準検知装置として、圧縮機のケーシングの上に位置付けられた複数の検知装置から選択される。複数の検知装置は、例えば、検知装置 18、20 であることが可能である。ステップ 904において、複数の検知装置からの A E 信号の到着の時間を、基準検知装置から受信された A E 信号の到着の時間に対して、決定することができる。さらに、ステップ 906において、それぞれの A E 信号に対応する発生源検知装置を、ステップ 904において決定された A E 信号の到着の時間に基づいて、決定することができる。発生源検知装置は、例えば、A E 信号の到着の時間に三角測量技術を適用することによって、決定することができる。20

#### 【符号の説明】

##### 【0043】

- 10 システム
- 12 ステータベーン
- 14 軸流圧縮機
- 16 回転ブレード
- 17 ケーシング
- 18 検知装置
- 20 検知装置
- 22 A E 信号
- 24 A E 信号
- 26 処理サブシステム
- 100 システム
- 102 圧縮機
- 104 A E 信号
- 106 増幅装置
- 108 A E 信号

1020304050

|       |             |    |
|-------|-------------|----|
| 1 1 0 | タービン区画      |    |
| 1 1 1 | D A Q       |    |
| 1 1 2 | A E データ     |    |
| 1 1 4 | 第1の処理サブシステム |    |
| 1 1 6 | 第2の処理サブシステム |    |
| 5 0 0 | プロファイル      |    |
| 5 0 2 | A E 信号      |    |
| 5 0 4 | X 軸         |    |
| 5 0 6 | Y 軸         |    |
| 5 0 8 | 動的閾値        | 10 |
| 5 1 0 | 関心信号        |    |
| 5 1 2 | 場所          |    |
| 5 1 4 | 場所          |    |
| 6 0 0 | グラフィック表示    |    |
| 6 0 2 | X 軸         |    |
| 6 0 4 | Y 軸         |    |
| 6 0 6 | 集団          |    |
| 6 0 8 | 集団          |    |
| 6 1 0 | 集団          |    |

【図1】

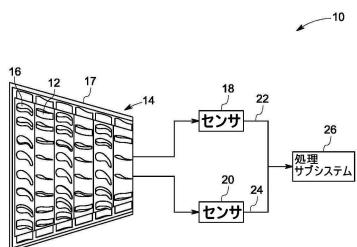


FIG. 1

【図2】

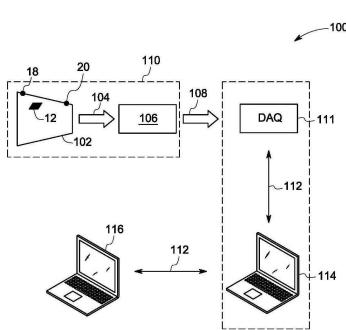


FIG. 2

【図3】

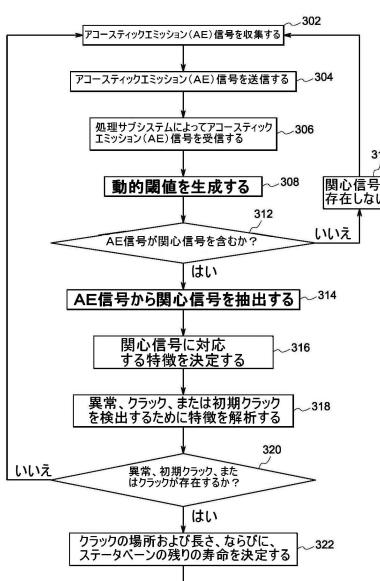
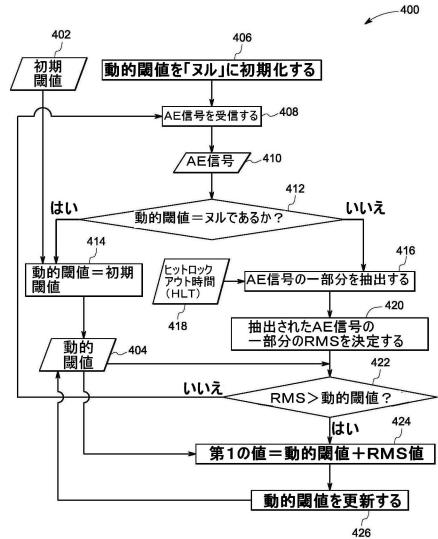
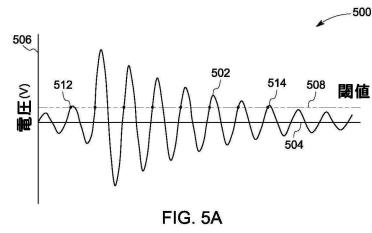


FIG. 3

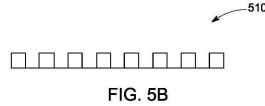
【図4】



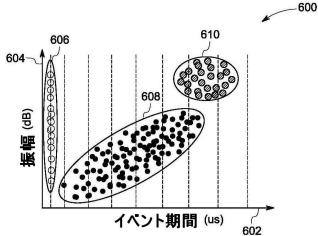
【図5A】



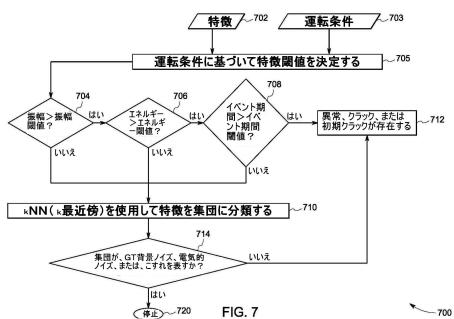
【図5B】



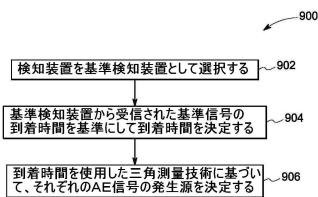
【図6】



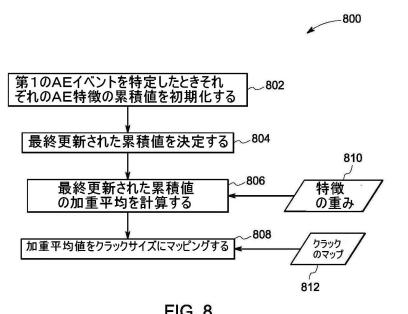
【図7】



【図9】



【図8】



---

フロントページの続き

(72)発明者 パスカル・ラオ・キーリー

アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12309、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-5エイ59  
、リサーチ・サークル、1番

(72)発明者 アニンダ・バッタチャリヤ

アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12309、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-5エイ59  
、リサーチ・サークル、1番

(72)発明者 ラヴィ・ヨガナサ・バブ

アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12309、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-5エイ59  
、リサーチ・サークル、1番

(72)発明者 ニレッシュ・トラルシャワラ

アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12309、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-5エイ59  
、リサーチ・サークル、1番

審査官 越柴 洋哉

(56)参考文献 特開2011-220333(JP,A)

特開平09-061407(JP,A)

特開2010-060425(JP,A)

米国特許第05070722(US,A)

特開昭62-019755(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 29/00 - 29/52