

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6280354号
(P6280354)

(45) 発行日 平成30年2月14日 (2018. 2. 14)

(24) 登録日 平成30年1月26日 (2018. 1. 26)

(51) Int. Cl.

F I

F O 4 D 29/32 (2006. 01)

F O 4 D 29/32 K

F O 4 D 29/64 (2006. 01)

F O 4 D 29/64 B

F O 4 D 29/38 (2006. 01)

F O 4 D 29/38 G

F O 1 D 25/00 (2006. 01)

F O 1 D 25/00 V

F O 1 D 5/14 (2006. 01)

F O 1 D 5/14

請求項の数 18 外国語出願 (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2013-245535 (P2013-245535)
 (22) 出願日 平成25年11月28日 (2013. 11. 28)
 (65) 公開番号 特開2014-114806 (P2014-114806A)
 (43) 公開日 平成26年6月26日 (2014. 6. 26)
 審査請求日 平成28年11月24日 (2016. 11. 24)
 (31) 優先権主張番号 5014/CHE/2012
 (32) 優先日 平成24年11月30日 (2012. 11. 30)
 (33) 優先権主張国 インド (IN)

(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、スケネクタデイ、リバーロード、1
 番
 (74) 代理人 100137545
 弁理士 荒川 聡志
 (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】 翼形部の健全性をモニタするためのシステム及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数のブレードに対する実際の到着時間に基づいて複数のブレードに対する正規化 到着時間を決定するステップと、

複数のブレードに対する正規化 到着時間から 1 以上の共通因子の影響を取り除くこと
によって複数のブレードの静的たわみを決定するステップと

を含む方法であって、

複数のブレードの静的たわみを決定するステップが、

正規化 到着時間に基づいて複数のモードと複数のブレード係数とを決定するステップと

、
複数のブレード係数に基づいて複数のブレード係数のうち複数のモードの共通モードに対
応するブレード係数を特定するステップと、

共通モードに対応するブレード係数をゼロに等しくすることによって生再構成行列を成す
ステップと、

複数のモードと再構成行列とに基づいて複数のブレードの静的たわみを決定するステップ
と

を含んでいる、方法。

【請求項 2】

正規化 到着時間を決定するステップが、

実際の到着時間に基づいてブレード間間隔パラメータと負荷パラメータとを決定するステ

ップと、
実際の到着時間、ブレード間間隔パラメータ及び負荷パラメータに基づいて正規化 到着時間を決定するステップと
 を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

複数のブレードの静的たわみを決定するステップが、1 以上の共通因子に関するデータに依拠せずに、1 以上の共通因子の影響を取り除くステップを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

複数のブレードの静的たわみを分析して複数のブレードの健全性を決定するステップをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 5】

正規化 到着時間を決定するステップが、ロバスト最小二乗法技術、加重最小二乗法技術又はそれらの組合せを実際の到着時間に適用するステップを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

複数のモードを決定するステップが、正規化 到着時間に基づいて共分散行列を決定するステップと、共分散行列に対する固有ベクトル行列を決定するステップと、正規化 到着時間と固有ベクトル行列とに基づいて複数のモードを決定するステップと
 を含む、請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 7】

複数のブレード係数を決定するステップが、固有ベクトル行列の逆行列を決定するステップを含む、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

複数のブレード係数のうち共通モードに対応するブレード係数を特定するステップが、複数のモードにおけるモードに対応する個別のブレード係数に基づいて 1 以上の共通モード選択閾値を決定するステップと、1 以上の共通モード選択閾値に基づいてブレード係数を特定するステップと
 を含む、請求項 1 に記載の方法。

30

【請求項 9】

複数のブレードに対する実際の到着時間に基づいて複数のブレードに対する正規化 到着時間を決定し、

複数のブレードに対する正規化 到着時間から 1 以上の共通因子の影響を取り除くことによって複数のブレードの静的たわみを生成する
処理サブシステムを備えるシステムであって、

正規化 到着時間に基づいて複数のモードと複数のブレード係数とを決定し、
複数のブレード係数に基づいて複数のブレード係数のうち複数のモードの共通モードに対応するブレード係数を特定し、

共通モードに対応するブレード係数をゼロに等しくすることによって再構成行列を生成し
、

40

複数のモードと再構成行列とに基づいて複数のブレードの静的たわみを決定することにより、
複数のブレードの静的たわみを生成する
システム。

【請求項 10】

処理サブシステムは、最小二乗法技術、ロバスト最小二乗法技術、加重最小二乗法技術又はそれらの組合せを実際の到着時間に適用することによって、正規化 到着時間を決定する、請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 11】

1 以上の共通因子は、動作パラメータ、複数のブレードの再着座又はそれらの組合せを

50

含む、請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 1 2】

処理サブシステムが、1 以上の共通因子に関するデータに依拠せずに、1 以上の共通因子の影響を取り除く、請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 1 3】

処理サブシステムと動作通信状態にある複数の検知装置をさらに備え、複数の検知装置は、複数のブレードの実際の到着時間を表すブレード通過信号を発生させる、請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 1 4】

処理サブシステムは、1 以上の共通因子の影響を正規化 到着時間から取り除き、主成分分析技術、特異値分解技術、独立成分分析技術又はそれらの組合せを含む技術を適用することを含む、請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 1 5】

複数ブレードに対する正規化 到着時間に基づいて複数のブレードに対する複数のモードを決定し、

正規化 到着時間に基づいて複数のモードと複数のブレードとに対応する複数のブレード係数を決定し、

複数のブレード係数のうち複数のモードの共通モードに対応する 1 以上のブレード係数を特定し、

複数のブレード係数における 1 以上のブレード係数をゼロに等しくして再構成行列を生成し、

正規化 到着時間と複数のモードとに基づいて複数のブレードに対する静的たわみを決定する

ように構成された処理サブシステムを含む、システム。

【請求項 1 6】

処理サブシステムはさらに、複数のブレードに対する正規化 到着時間を、ロバスト最小二乗法技術を実際の到着時間に適用することによって決定するように構成された、請求項 1 5 に記載のシステム。

【請求項 1 7】

処理サブシステムはさらに、実際の到着時間に基づいて、ブレード間間隔パラメータと負荷パラメータとを決定し、実際の到着時間、ブレード間間隔パラメータ及び負荷パラメータに基づいて、正規化 到着時間を決定する

ことによって、複数のブレードに対する正規化 到着時間を決定するように構成されている、請求項 1 5 に記載のシステム。

【請求項 1 8】

処理サブシステムは、複数のブレードに対する正規化 到着時間に基づいて正規化 到着時間行列を決定し、

正規化 到着時間行列の共分散を決定することによって共分散行列を決定し、

共分散行列に対する固有ベクトル行列を決定し、

正規化 到着時間行列と固有ベクトル行列とに基づいて複数のモードを決定する、

ことによって、複数のブレードに対する複数のモードを決定するように構成されている、請求項 1 5 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

開示内容の実施形態は一般的に、ロータブレード又は翼形部の健全性をモニタするためのシステム及び方法に関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

ロータブレード又は翼形部は、多くの装置で重要な役割を演じている。いくつかの例を挙げれば、軸流式圧縮機、タービン、エンジン、ターボ機械などである。例えば、軸流式圧縮機には一連の段があり、各段は、ロータブレード又は翼形部の列と、それに続く静翼又は静止翼形部の列とを備えている。すなわち、各段は、一对のロータブレード又は翼形部と静止翼形部とを備えている。典型的には、ロータブレード又は翼形部によって、入口を通して軸流式圧縮機に入る流体の運動エネルギーが増加する。さらに、静翼又は静止翼形部によって一般的に、増加した流体の運動エネルギーが拡散を通して静圧に変換される。したがって、ロータブレード又は翼形部と静止翼形部とによって、流体の圧力が増加する。

10

【 0 0 0 3 】

さらに、ロータブレード又は翼形部と静止翼形部とを備える軸流式圧縮機の応用例は、多種多様である。軸流式圧縮機を、例えば、複数の装置で用いる場合がある。例えば、陸用ガスタービン、ジェットエンジン、高速船エンジン、小規模発電所などである。加えて、軸流式圧縮機には他の応用例がある場合がある。例えば、大規模空気分離装置、高炉空気、流動接触分解空気、プロパン脱水素などである。

【 0 0 0 4 】

翼形部は、翼形部の健全性に影響する極端かつ変動する動作条件、例えば、高速、圧力及び温度の下で長期間動作する。極端かつ変動する動作条件に加えて、他の特定の因子によって、翼形部の疲労及び応力を招くこともある。そのような因子としては、例えば、遠心力を含む慣性力、圧力、翼形部の共振周波数、翼形部内の振動、振動応力、温度応力、翼形部の再着座、ガスその他の流体の負荷などが挙げられる場合がある。応力及び疲労の長期的増加がある時間に渡って起こると、欠陥及び割れが翼形部内に生じる。割れの1以上が時間とともに広がって、翼形部又は翼形部の一部が遊離する場合がある。翼形部の遊離は、翼形部を備える装置にとって危険な場合があり、そのため、莫大な金銭的損失に至る場合がある。加えて、装置の付近にいる人達にとって安全ではない場合がある。

20

【 発明の概要 】

【 0 0 0 5 】

したがって、翼形部の健全性をリアルタイムで予測し得るシステム及び方法を開発することは非常に望ましい。より詳細には、割れ又は破砕をリアルタイムで検出及び予測し得るシステム及び方法を開発することは望ましい。

30

【 0 0 0 6 】

簡潔に述べると、本技術の一態様では、方法を提供する。本方法は、複数のブレードに対する実際の到着時間に基づいて複数のブレードに対する正規化 到着時間を決定するステップと、複数のブレードに対する正規化 到着時間から1以上の共通因子の影響を取り除くことによって複数のブレードの静的たわみを決定するステップとを含む。

【 0 0 0 7 】

一態様では、処理サブシステムを含むシステムを提供する。処理サブシステムは、複数のブレードに対する実際の到着時間に基づいて複数のブレードに対する正規化 到着時間を決定し、また複数のブレードに対する正規化 到着時間から1以上の共通因子の影響を取り除くことによって複数のブレードの静的たわみを生成する。

40

【 0 0 0 8 】

本システムの別の態様では、処理サブシステムを提供する。処理サブシステムは、複数のブレードに対する正規化 到着時間に基づいて複数のブレードに対する複数のモードを決定し、正規化 到着時間に基づいて複数のモードと複数のブレードとに対応する複数のブレード係数を決定し、複数のブレード係数のうち複数のモードの共通モードに対応する1以上のブレード係数を特定し、複数のブレード係数における1以上のブレード係数をゼロに等しくして再構成行列を生成し、正規化 到着時間と複数のモードとに基づいてブレードに対する静的たわみを決定する。

【 0 0 0 9 】

50

本発明の上記その他の特徴、態様及び利点は、以下の詳細な説明を、添付図面を参照して読むと理解を深めることができよう。図面の全体に渡って同様の文字は同様の部分を表す。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本システムの実施形態によるブレード健全性モニタリングシステムの典型的な概略図である。

【図2】本技術の実施形態による静的たわみを決定するための典型的な方法を表すフローチャートである。

【図3】本技術の実施形態による、図2で参照した正規化TOAを決定するための典型的な方法を表すフローチャートである。

10

【図4】本技術の一実施形態によるロバスト最小二乗法技術を用いて算出される実TOAの典型的なグラフ表示である。

【図5】本技術の実施形態による、図2で参照した複数のモード及び複数のブレード係数を決定するための典型的な方法を表すフローチャートである。

【図6】本技術の実施形態による、図2で参照した共通モードを決定するための典型的な方法を表すフローチャートである。

【図7A】本技術の実施形態による、共通モードに対応する係数を特定するための2つのモードに対応する係数の典型的なグラフ表示である。

【図7B】本技術の実施形態による、共通モードに対応する係数を特定するための2つのモードに対応する係数の典型的なグラフ表示である。

20

【図8】本技術の一実施形態による、正規化TOA、共通モード又は共通モードに対応するブレード係数及び複数のブレードに対する静的たわみを表す信号のグラフ表示を、静的たわみの決定を説明するために示したものである。

【図9】ブレードの静的たわみを表す信号のグラフ表示を、ブレードの健全性のモニタリングを説明するために示したものである。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下に詳細に説明するように、本システム及び技術の実施形態によって、1以上のブレード又は翼形部の健全性が評価される。より詳細には、本システム及び技術によって、ブレード又は翼形部の静的たわみが決定される。例えば、ブレードの静的たわみを用いてブレードの健全性をモニタしてもよい。以下、「翼形部」及び「ブレード」という用語は互換的に用いられる。静的たわみは、例えば、ブレードの予測又は原位置からのブレードの原位置又は予測位置の定常変化を示すのに用いることができる。

30

【0012】

動作時には、ブレードの回転中に、ブレード内の1以上の割れ又は欠陥に起因して基準位置でのブレードの到着時間(TOA)(以下、実TOAという)が予想TOAから変化する可能性がある。したがって、ブレードのTOAの変化を用いて、ブレードの静的たわみを決定することができる。本明細書で用いる「予想TOA」という用語は、ブレード内に欠陥も割れも存在せずにブレードが理想的な状況で動作し、負荷状態が最適で、ブレード内の振動が最小であるときの基準位置でのブレードのTOAをいう。

40

【0013】

ブレードの割れ又は欠陥に加えて、実TOAは、1以上の共通因子の影響に起因して変化する場合もある。本明細書で用いる「共通因子」という用語は、装置内のブレードに共通する理由であって、ブレードに対する実TOAに影響(例えば、早着又は遅延)する理由をいう。共通因子としては、例えば、動作パラメータ、ブレードの再着座などが挙げられる。例えば、動作パラメータとしては、入口案内翼(IGV)角度、負荷変化、ブレードの再着座、速度変化、温度、速度などが挙げられる。

【0014】

本明細書で用いる「ブレードの再着座」という用語は、継手(例えば、ダブテール継手

50

）内のブレードの原位置又は予想位置とは異なる位置にブレードがロックされることをいう。典型的に、ブレードはロータに、1以上の継手（例えばダブルテール継手）を介して固定されている。ブレードを含む装置の起動中に、ブレードは、継手内のその原位置からシフトする場合があります、また継手内で、ブレードの原位置とは異なる位置にロックされる場合がある。例として、装置には、ガスタービン、圧縮機などが含まれていてもよい。ブレードの原位置とは異なる位置の継手内にブレードがロックされることを、ブレードの再着座という。ブレードの位置が変わることによって、ブレードの実T O Aが変わる場合がある。

【0015】

その結果、ブレードに対する実T O Aに対応する共通因子及びブレード内の割れ又は欠陥の影響に起因して、ブレードの静的たわみは、正確又は精密な静的たわみから変化する。したがって、ブレードの健全性のモニタリング又はブレード内の割れ又は欠陥の決定に際しては、ブレードに対する実T O Aに対する共通因子の影響を無効にすることが望ましい。本システム及び技術の特定の実施形態では、共通因子の影響を取り除いて、ブレードの静的たわみを決定する。

【0016】

図1は、本システムの実施形態によるブレード健全性モニタリングシステム10の概略図である。図1に示すように、システム10は、1以上のブレード又は翼形部12を備え、これらは、ブレードの静的たわみ12を決定するためにシステム10によってモニタされている。さらに、システム10は、ブレードの静的たわみ12に基づいてブレード12の健全性を決定する。現在想定される構成で示すように、システム10は1以上のセンサ14、16を備えている。各センサ14、16は、ブレード通過信号（BPS）18、20をそれぞれ発生させる。これらは、基準点へのブレード12の実際の到着時間（T O A）を表す。一実施形態では、センサ14、16は、基準点への1以上のブレード12の到着を検知して、BPS 18、20を発生させる。例えば、基準点は、センサ14、16の真下であってもよいし、或いはセンサ14、16に隣接していてもよい。一実施形態では、各BPS 18及び20は所定の時間サンプリング及び/又は測定され、ブレードの実T O Aの決定に用いられる。例えば、実T O Aは、時間単位又は度の単位で測定してもよい。

【0017】

一実施形態では、センサ14、16は、1以上のブレード12の前縁の到着を検知して、BPS 18、20を発生させてもよい。別の実施形態では、センサ14、16は、1以上のブレード12の後縁の到着を検知して、BPS 18、20を発生させてもよい。さらに他の実施形態では、センサ14は、1以上のブレード12の前縁の到着を検知して、BPS 18を発生させてもよく、センサ16は、1以上のブレード12の後縁の到着を検知して BPS 20を発生させてもよいし、その逆であってもよい。例えば、センサ14、16を、1以上のブレード12に隣接して、静止物体上に、1以上のブレード12の到着が効率的に検知され得るような位置に取り付けてもよい。一実施形態では、センサ14、16の少なくとも一方が、1以上のブレード12のケーシング（図示せず）上に取り付けられている。非限定的な例として、センサ14、16は、磁気センサ、容量センサ、渦電流センサなどであってもよい。

【0018】

現在想定される構成で例示するように、BPS 18、20は、処理サブシステム22によって受信される。処理サブシステム22は、BPS 18、20に基づいて1以上のブレード12の実T O Aを決定する。さらに、処理サブシステム22は、1以上のブレード12の実T O Aに基づいて1以上のブレード12の静的たわみを決定する。より詳細には、処理サブシステム22は、1以上のブレード12の実T O Aを処理することによってブレード12の1以上の静的たわみを決定するように構成されている。ブレード12の実T O Aは、1以上の共通因子に起因して影響を受ける場合がある。本明細書で用いる「共通因子」という用語は、装置内のすべてのブレードに共通する理由であって、ブレードに対す

10

20

30

40

50

る実T O Aに影響(例えば、早着又は遅延)する理由をいう。共通因子としては、例えば、動作パラメータ、ブレードの再着座などが挙げられる。

【0019】

ブレードの静的たわみ12を、共通因子の影響を取り除かずにこのような実T O Aに基づいて決定した場合には、たとえブレード12内に割れ又は欠陥が存在していなくても、このような静的たわみがブレード12の1以上における割れを誤って示唆することがある。したがって、現在想定される技術では、処理サブシステム22は、例えば、ブレード12に対する実T O Aから共通因子の影響を取り除くことによってブレードの静的たわみ12を決定する。一実施形態では、例えば、処理サブシステム22は、ブレード12に対する実T O Aに基づいて決定される正規化T O Aから共通因子の影響を取り除くことによってブレード12に対する静的たわみを決定することができる。例えば、主成分分析技術、特異値分解技術、独立成分分析技術又はそれらの組合せを含む技術を適用することによって共通因子の影響を取り除いてもよい。本明細書で用いる「正規化T O A」という用語は、複数のブレードにおけるあるブレードの実T O Aに対する数値であって、複数のブレードに対する実T O Aと、ブレード間隔パラメータとに基づいて決定される数値をいう。正規化T O Aとブレード間隔パラメータとの決定について、図2及び図3を参照して詳細に説明する。

10

【0020】

一実施形態では、処理サブシステム22は、ブレード12に対する静的たわみを、主成分分析技術(P C A)を実T O A又は正規化T O Aに適用することによって決定する。したがって、処理サブシステム22は、主成分分析技術を実T O Aに適用することによって、実T O Aから共通因子の影響を取り除いてもよい。一実施形態では、処理サブシステムは、主成分分析技術、特異値分解技術、独立成分分析技術又はそれらの組合せを含む技術を用いて実T O Aから共通因子の影響を取り除く。静的たわみの決定について、図2～図6を参照してさらに詳しく説明する。一実施形態では、処理サブシステム22は、データリポジトリ24を有していてもよい。データリポジトリ24は、データ、例えば静的たわみ、動的たわみ、T O A、__T O A、任意の中間データなどを記憶する。

20

【0021】

なお、現在想定される構成では、共通因子(例えば動作パラメータ)の影響は、共通因子(例えば動作パラメータ、ブレードの再着座など)に関係する任意のデータに依拠せずに、実T O Aから除去される。したがって、現在想定される技術では、外部装置(例えばオンサイトのモニタリング装置その他の装置)からのデータは、実T O A又は正規化T O Aから共通因子の影響を除去するのに必要とされない。動作パラメータとしては、例えば、入口案内翼(I G V)角度、負荷変化、ブレードの再着座、速度変化、温度、速度などが挙げられる。

30

【0022】

次に、図2を参照すると、本技術の実施形態により複数のブレードの静的たわみを決定するための典型的な方法200を表すフローチャートが示してある。複数のブレードは、例えば、ブレード12(図1参照)であってもよい。以下、理解を促すため、ブレード12を参照して静的たわみの決定について説明する。ステップ202において、ブレード12に対するブレード通過信号(B P S)を、処理サブシステム、例えば処理サブシステム22(図1参照)で受信してもよい。図1を参照して既に説明したように、B P Sは、センサ、例えばセンサ14、16(図1参照)によって発生させてもよい。B P Sは、例えば、B P S18、20(図1参照)であってもよい。

40

【0023】

さらに、ステップ204において、ブレード12の実際の到着時間(T O A)206を処理サブシステムによって決定する。処理サブシステムは、B P Sのサンプリングによって実T O Aを決定する。特に、処理サブシステムは、ブレードに対するB P Sを用いて、ブレードに対する1以上の実T O Aを決定する。ステップ208において、ブレード12に対する正規化T O A210を決定してもよい。本明細書で用いる「正規化T O A」

50

という用語は、複数のブレード内のブレードの実T O Aに対応する数値であって、複数のブレードに対する実T O Aとブレード間隔パラメータとに基づいて決定される数値をいう。正規化 T O A 2 1 0は、例えば、処理サブシステムによって決定してもよい。一実施形態では、正規化 T O A 2 1 0は、ロバスト最小二乗法技術又は加重最小二乗法技術を実T O A 2 0 6に適用することによって決定される。ロバスト最小二乗法技術を用いて正規化 T O A 2 1 0を決定すると、明確な正規化ステップがなくなる。ロバスト最小二乗法技術を用いて正規化 T O Aを決定すると、1以上の異常値実T O A（1以上の異常値実T O Aが存在するとき）例えば割れたブレードの実T O Aに対する極端な感度が小さくなる。一実施形態では、ロバスト最小二乗法技術を用いて正規化 T O A 2 1 0を決定することによって、負荷データに依拠せずに、負荷の影響に対して正規化された正規化 T O Aが得られる。正規化 T O Aの決定について、図3及び図4を参照してさらに詳しく説明する。ステップ2 1 2において、モード行列M又は複数のモード2 1 4を決定してもよい。さらに、ステップ2 1 2において、係数行列U又は複数のモード2 1 4に対応する複数のブレード係数2 1 5を決定してもよい。モード行列M 2 1 4及び係数行列U 2 1 5は、例えば、主成分分析技術を正規化 T O A 2 1 0に適用することによって決定される。なお、現在想定される技術は、主成分分析技術を用いて静的たわみ及びノ又はモード行列を決定するための一実施形態について説明しているが、他の技術、例えば、特異値分解技術、独立成分分析技術又はそれらの組合せを用いてもよい。特に、モード行列M 2 1 4を、例えば、正規化 T O A 2 1 0に基づいて決定してもよく、また固有ベクトル行列Vを、正規化 T O A 2 1 0に基づいて決定してもよい。固有ベクトル行列Vの決定について、図5を参照してさらに詳しく説明する。モード行列M 2 1 4は、ブレード1 2に対する複数のモード2 1 4を表す。一実施形態では、モード行列M 2 1 4内の各行が、複数のモード2 1 4におけるモードを表す。別の実施形態では、モード行列M 2 1 4内の各列が、複数のモード2 1 4におけるモードを表す。一実施形態では、複数のモード2 1 4又はモード行列Mを、以下の等式を用いて決定してもよい。

【0 0 2 4】

$$M = X \times V \quad (1)$$

式中、Mはモード行列であり、Xは正規化 T O Aの行列であり、Vは固有ベクトル行列である。

【0 0 2 5】

さらに、ステップ2 1 2において、複数のブレード係数又は係数行列U 2 1 5を決定してもよい。係数行列U 2 1 5は、例えば、固有ベクトル行列Vに基づいて決定することができる。係数行列U 2 1 5は、複数のモード2 1 4に対応するブレード1 2のブレード係数を表す。一実施形態では、モード行列M 2 1 4内の行が複数のモード2 1 4を表すとき、係数行列U 2 1 5内の列が、複数のモード2 1 4に対応するブレード1 2のブレード係数を表すが、その逆であってもよい。例えば、係数行列U 2 1 5内の行が、モード行列2 1 5内の列によって示されるモードに対応するブレード係数を表すこともあり、その逆であってもよい。例えば、係数行列Uの第1行が、モードに対応するブレード1 2のブレード係数を表す場合がある。モードは、モード行列M 2 1 4内の第1列によって示される。図7(a)及び図7(b)はそれぞれ係数行列Uの2つの行の典型的なグラフ表示を示す。

【0 0 2 6】

さらに、ステップ2 1 6において、複数のモード2 1 4の共通モードに対応する係数行列U 2 1 5内のブレード係数を決定する。本明細書で用いる「共通モード」という用語は、複数のブレードのブレード係数に対応するモードをいう。ブレード係数はある範囲に含まれる。一実施形態では、モードに対応するブレードのブレード係数に基づいて範囲をリアルタイムで決定する。別の実施形態では、共通モード選択閾値に基づいて範囲を決定する。別の実施形態では、例えば、対応する共通モード選択閾値に基づいて、共通モードに対応する係数行列U 2 1 5内のブレード係数を特定する。本技術の一実施形態による共通モードに対応するブレード係数の特定及び共通モード選択閾値の決定について図6、図7

10

20

30

40

50

(a) 及び図 7 (b) を参照してさらに詳しく説明する。

【 0 0 2 7 】

さらに、ステップ 2 1 8 において、係数行列 U 2 1 5 内の共通モードに対応するブレード係数をゼロに等しくすることによって再構成行列 U₁ を生成させる。その後、ステップ 2 2 0 において、再構成行列 U₁ 及びモード行列 M を用いてブレード 1 2 に対する静的たわみ 2 2 2 を決定する。静的たわみは、例えば以下の等式 (2) を用いて決定することができる。

【 0 0 2 8 】

$$Y = M \times U_1 \quad (2)$$

式中、Y は静的たわみを表し、M はモード行列を表し、U₁ は再構成行列を表す。その後、ステップ 2 2 4 において、静的たわみ 2 2 2 に基づいてブレード 1 2 の健全性を分析してもよい。一実施形態では、ブレード 1 2 の 1 以上に対する静的たわみ 2 2 2 の 1 以上が所定の閾値を超えると、ブレード 1 2 の 1 以上における障害、欠陥又は割れを認定してもよい。なお、一実施形態では、モード行列 M 2 1 4 を再構成行列 U₁ に乗じることによって、静的たわみ 2 2 2 の共通モードの影響が除去される。特に、モード行列 M と再構成行列とを乗じることによって、正規化 T O A 2 1 0 から共通因子の影響を除去して、ブレード 1 2 の静的たわみ 2 2 2 が決定される。

【 0 0 2 9 】

次に、図 3 を参照すると、本技術の実施形態により、ブレード 1 2 に対する正規化 T O A 2 1 0 を決定するための典型的な方法 3 0 0 を表すフローチャートが示してある。一実施形態では、図 2 におけるステップ 2 0 8 を図 3 でさらに詳しく説明する。前述したように、符号 2 0 6 は、ブレード 1 2 に対する実際の到着時間 (T O A) を表す。ステップ 3 0 2 において、ラインを、ロバスト最小二乗法技術を用いて実 T O A 2 0 6 上にフィッティングしてもよい。図 4 に、ロバスト最小二乗法技術を用いた実 T O A 上へのラインの典型的なフィッティングを示す。

【 0 0 3 0 】

ステップ 3 0 4 において、ブレード間間隔パラメータ及び負荷パラメータを決定してもよい。実 T O A 2 0 6 上にフィッティングされたラインを用いて、ブレード間間隔パラメータと負荷パラメータとを求めることができる。ブレード間間隔パラメータと負荷パラメータとの典型的な決定について、図 4 を参照して説明する。ステップ 3 0 6 において、ブレード間間隔パラメータ、実 T O A 2 0 6 及び負荷パラメータに基づいて、ブレード 1 2 の 1 以上に対する正規化 T O A 2 1 0 を決定することができる。特に、対応する実際の到着時間 (T O A) 、対応するブレード間間隔パラメータ及び負荷パラメータに基づいて、ブレードに対する正規化 T O A を決定することができる。一実施形態では、以下の等式 (3) を用いて、正規化 T O A を決定することができる。

【 0 0 3 1 】

$$Norm. \quad j(k) = A(k) - [(k)(j-1) + (k)] \quad (3)$$

式中、j は、ブレード j に対する正規化 T O A であり、A は、ブレード j に対する実際の到着時間であり、j はブレードの識別番号であり、はブレード間間隔パラメータであり、は負荷パラメータであり、k はタイムスタンプである。

【 0 0 3 2 】

次に、図 4 を参照して、本技術の一実施形態によりロバスト最小二乗法技術を用いてライン 4 0 6 上にフィッティングされた実 T O A 4 0 1 の典型的なグラフ表示 4 0 0 を示す。図 4 に示すように、X 軸 4 0 2 はブレードの識別番号を表し、Y 軸 4 0 4 は、ブレードに対する実際の到着時間 (T O A) を表す。実 T O A は、例えば、実 T O A 2 0 6 であってもよい。現在想定される構成で示すように、ライン 4 0 6 を実 T O A 4 0 1 上に、ロバスト最小二乗法技術を用いてフィッティングする。さらに、図 4 に示すように、符号 4 0 8 はライン 4 0 6 の切片である。現在想定される構成では、切片 4 0 8 は、ブレードに対する負荷パラメータである。さらに、符号 4 1 0 は、ブレードに対するブレード間間隔パラメータである。

【 0 0 3 3 】

次に、図 5 を参照して、本技術の実施形態により、図 2 におけるモード又はモード行列 2 1 4 とブレード係数又は係数行列 U 2 1 5 とを決定するための典型的な方法 5 0 0 を表すフローチャートを示す。一実施形態では、図 2 におけるステップ 2 1 2 を図 5 でさらに詳しく説明する。図 2 を参照して既に説明したように、符号 2 1 0 は、ブレード 1 2 に対する正規化 T O A を表す。一実施形態では、ステップ 5 0 2 において、正規化 T O A 2 1 0 を用いて、正規化 T O A 行列 X を決定してもよい。ステップ 5 0 4 において、正規化 T O A 行列 X の共分散を決定して、共分散行列を生成してもよい。さらに、ステップ 5 0 6 において、固有ベクトル行列 V を共分散行列に対して決定する。

【 0 0 3 4 】

ステップ 5 0 8 において、正規化 T O A 行列 X と固有ベクトル行列 V とに基づいて、モード行列 M 2 1 4 を決定する。一実施形態では、行列 X と固有ベクトル行列 V とを乗じることによってモード行列 M を決定する。モード行列 M 2 1 4 が決定される結果、複数のモード 2 1 4 が決定される。特に、モード行列 2 1 4 内の各列は、複数のモード 2 1 4 におけるモードを表す。さらに、ステップ 5 1 0 において、固有ベクトル行列 V に基づいて係数行列 U 2 1 5 を決定する。係数行列 U 2 1 5 は、例えば、固有ベクトル行列 V の逆行列である。なお、現在想定される構成では、係数行列 U 2 1 5 は、複数のモード 2 1 4 に対応する複数のブレード係数 2 1 5 を表す。特に、係数行列 U 2 1 5 内の各行又は各列のいずれかが、複数のモード 2 1 4 におけるモードに対応するブレード係数を表す。なお、現在想定される構成では、複数のモード 2 1 4 と複数の係数 2 1 5 とを、正規化 T O A 2 1 0 を行列として表現及び使用することによって決定するが、ある実施形態では、正規化 T O A 2 1 0 の他の表現を用いて、複数のモード 2 1 4 と複数の係数 2 1 5 とを決定してもよい。

【 0 0 3 5 】

次に、図 6 を参照すると、本技術の実施形態により、モード 2 1 4 の共通モードに対応するブレード係数を決定するための典型的な方法 6 0 0 を表すフローチャートが示してある。一実施形態では、図 2 におけるステップ 2 1 6 を図 6 でさらに詳しく説明する。ステップ 6 0 2 において、1 以上の共通モード選択閾値を決定してもよい。本明細書で用いる「共通モード選択閾値」という用語は、モードが共通モードであるか否かを判定するために、モードに対応するブレード係数に基づいて決定される数値をいう。一実施形態では、1 以上の共通モード選択閾値は、モードに対応するブレード係数の標準偏差又は中央値を計算することによって決定することができる。

【 0 0 3 6 】

共通モード選択閾値を決定した後に、ステップ 6 0 4 において、複数のブレード係数 2 1 5 の共通モードに対応するブレード係数を特定してもよい。共通モードに対応するブレード係数は、例えば、共通モード選択閾値を用いて特定することができる。図 7 (a) 及び図 7 (b) に、共通モードに対応するブレード係数を特定することを説明するための複数のブレード係数の典型的なグラフ表示 7 0 0 を示す。特に、本技術の一実施形態により、図 6 におけるステップ 6 0 2 及び 6 0 4 を図 7 (a) 及び 7 (b) を用いてさらに詳しく説明する。現在想定される構成では、バープロット 7 0 2 は、モード A に対応するブレード係数を表し、バープロット 7 0 4 は、モード B に対応するブレード係数を表す。一実施形態では、モード A に対応するブレード係数 7 0 2 及びモード B に対応するブレード係数 7 0 4 は、複数のブレード係数 2 1 5 (図 2 及び図 5 参照) であってもよい。特に、モード A に対応するブレード係数は、複数のブレード係数又は係数行列 2 1 5 内の行であってもよく、モード B に対応するブレード係数 7 0 4 は、複数のブレード係数又は係数行列 2 1 5 内の別の行であってもよい (図 2 参照) 。

【 0 0 3 7 】

図 7 (a) 及び図 7 (b) のそれぞれにおいて、X 軸 7 0 6 は 3 4 個のブレードのブレード番号を表し、Y 軸 7 0 8 は、対応するモード 7 0 2、7 0 4 における 3 4 個のブレードのブレード係数を表す。したがって、現在想定される構成では、バープロット 7 0 2 に

10

20

30

40

50

において、X軸706は34個のブレードのブレード番号を表し、Y軸708は、モードAに対応する34個のブレードのブレード係数を表す。同様に、バープロット704において、X軸706は34個のブレードのブレード番号を表し、Y軸708は、モードBに対応する34個のブレードのブレード係数を表す。例えば、バープロット702におけるバー710は、モードAに対応する第1のブレードのブレード係数を表す。

【0038】

一実施形態では、共通モードに対応するブレード係数を、1以上の共通モード選択閾値に基づいて特定する。現在想定される構成では、モードA702に対応する34個のブレードのブレード係数には、2つの共通モード選択閾値712、714がある。さらに、モードBに対応するブレード係数704には、2つの共通モード選択閾値716、718がある。一実施形態では、共通モード選択閾値712、714は、例えば、モードAに対応する34個のブレードのブレード係数の標準偏差又は中央値を計算することによって決定される。同様に、共通モード選択閾値716、718は、モードBに対応する34個のブレードのブレード係数の標準偏差又は中央値を計算することによって決定される。

【0039】

さらに、一実施形態では、モードに対応するブレード係数を、対応する1以上の共通モード選択閾値と対比することによって、共通モードに対応するブレード係数を特定する。したがって、共通モードに対応するブレード係数を決定するために、モードAに対応するブレード係数702を共通モード選択閾値712、714と対比する。同様に、モードBに対応するブレード係数704を、対応する共通モード選択閾値716、718と対比する。

【0040】

図7(a)に示すように、モードAにおける34個のブレードのブレード係数は、共通モード選択閾値712、714を超えていない。したがって、モードAに対応する各ブレード係数702は、共通モードに対応するブレード係数として特定される。すなわち、モードAは共通モードであると認定できる。モードAは共通モードであるので、モードA702に対応する34個のブレードのブレード係数をゼロに等しくして、再構成行列(例えば、図2におけるステップ218において参照される再構成行列 U_1)内の行又は列を生成する。しかし、図7(b)では、モードBに対応する17番目のブレードのブレード係数720が、対応する共通モード選択閾値718を超えている。したがって、一実施形態では、モードBは共通モードではないと認定できる。一実施形態では、モードBは共通モードではないと認定した場合、モードB704に対応する34個のブレードのブレード係数を保持して、ゼロには等しくしない。したがって、このような実施形態では、モードBに対応するブレード係数704は、図2におけるステップ218において参照される再構成行列 U_1 内の行又は列を形成する。別の実施形態では、モードB720に対応する17番目のブレード以外のすべてのブレードのブレード係数704を、ゼロに等しくしてもよい。したがって、この実施形態では、ブレード係数720を維持して、再構成行列 U_1 内の行又は列を生成する。

【0041】

図8は、本技術の一実施形態により、複数のブレードの静的たわみを表す信号、正規化TOAを表す信号、共通モードを表す信号のグラフ表示である。図8に示すように、グラフ802は、30個のブレードに対する正規化TOAを表す信号801のグラフ表示である。グラフ802におけるX軸804はタイムスタンプを表し、グラフ802におけるY軸806は、正規化TOAを表す。グラフ802に示す各ライン801は、正規化TOAを表す信号を表す。グラフ802は、30個のブレードに対する正規化TOAを表す信号を、複数のタイムスタンプにおいて示している。グラフ802における正規化TOA801は、例えば、正規化TOA210(図2及び図3参照)であってもよい。

【0042】

一実施形態では、グラフ802における正規化TOA801を表す信号を処理して、

グラフ 808 に示す複数のモードの共通モード 810、812 を表す信号を特定する。共通モード 810、812 を表す信号は、例えば、図 2 ~ 図 7 を参照して説明した技術を用いて特定してもよい。ステップ 218 及び 220 において既に説明したように、正規化 T O A から共通モードの影響を取り除くことによって複数のブレードに対する静的たわみを決定する。現在想定される構成では、共通モード 810、812 を表す信号の影響を、正規化 T O A 801 を表す各信号から除去して、グラフ 816 に示す静的たわみ 814 を表す信号を発生させる。共通モード 810、812 を表す信号の影響を除去することによって、正規化 T O A 801 を表す信号から共通因子の影響が除去されて、信号 814 が生成される。共通モード 810、812 を表す信号の影響の除去は、例えば、図 2 のステップ 218 を参照して説明した技術を用いることによって行ってもよい。現在想定される構成では、静的たわみ 814 を表す信号は、30 個のブレード内のどんな欠陥及び障害も示してはいない。現在想定される構成では、静的たわみ 814 を表す信号は、どんな欠陥も示してはいない。なぜならば、30 個のブレードすべてに対する信号 814 が同様の傾向に従っているからである。典型的な目的に対して、図 9 に、30 個のブレードの組に対する静的たわみ 902 を表す信号のグラフ表示を示して、30 個のブレードのうちの 1 つにおける欠陥を示す。図 9 において、各ラインは、30 個のブレードにおけるブレードに対する静的たわみを表す信号を表す。現在想定される構成で示すように、30 個のブレードは、ブレード（以下、ブレード A という）に対する信号 904 以外は、それぞれ同様の傾向に従っている。言い換えれば、ブレード A に対する静的たわみ 904 を表す信号は、残りの 29 個のブレードに対する静的たわみを表す信号と比べて、固有の傾向を示している。ブレード A に対する静的たわみ 904 を表す信号をさらに抽出及び処理して、欠陥又は割れがブレード A 内に存在するか否かを判定してもよい。図 2 を参照して既に説明したように、ブレードに対する静的たわみを、対応する静的たわみ閾値と対比することによってブレード内の割れ又は欠陥を決定してもよい。

【0043】

本技術の実施形態によって、ブレードの静的たわみがリアルタイムで決定される。ブレードの静的たわみを、例えば、ブレード内の障害又は欠陥を検出する際に用いてもよい。加えて、本技術では、実 T O A 又は正規化 T O A から共通因子の影響を差し引いて、静的たわみを決定する。なお、本システム及び技術では、共通因子に関する任意のデータ（例えば、動作パラメータ）に依拠せずに、ブレードに対する共通因子の影響を取り除くことによって静的たわみを決定する。本技術によって、静的たわみが、人が介入することなく自動化方式で及びリアルタイムで決定される。ブレードの静的たわみを用いてブレードの健全性を決定する。例えば、静的たわみを用いて、ブレード内の割れ、曲げその他の障害をリアルタイムで特定してもよい。

【0044】

当然のことながら、必ずしも前述したこのような目的又は利点のすべてが、任意の特定の実施形態により実現されるわけではない場合がある。したがって、例えば、当業者であれば分かるように、本明細書で説明したシステム及び技術の具体化又は実施を、本明細書で教示した 1 つの優位点又は優位点の群を達成又は最適化するように行うことを、本明細書で教示又は示唆される場合がある他の目的又は優位点を必ずしも実現することなく、実行してもよい。

【0045】

本発明を限られた数の実施形態に関してのみ詳細に説明してきたが、本発明はこのような開示された実施形態に限定されないことが容易に理解されるはずである。むしろ、これまで説明してはいないが本発明の趣旨及び範囲に見合う任意の数の変形、変更、置換又は均等な配置を取り入れるように、本発明を変更することができる。さらに加えて、本発明の種々の実施形態について説明してきたが、本発明の態様には、説明した実施形態の一部のみが含まれる場合があることを理解されたい。したがって本発明は、前述の説明によって限定されると考えるべきではなく、添付の請求項の範囲のみによって限定される。

【図 1】

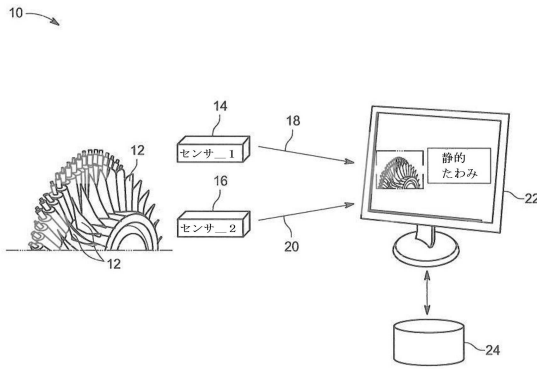


FIG. 1

【図 2】

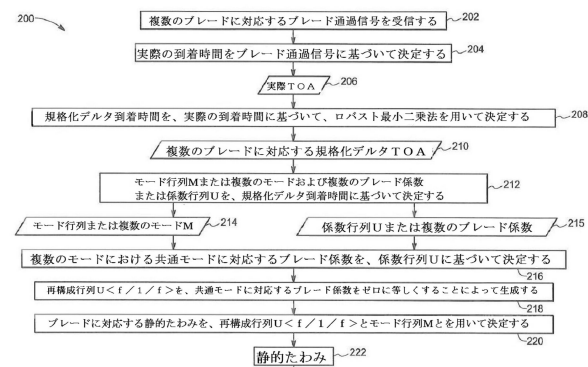


FIG. 2 プレードの調子を、ブレードに対応する静的たわみに基づいて分析する 224

【図 4】

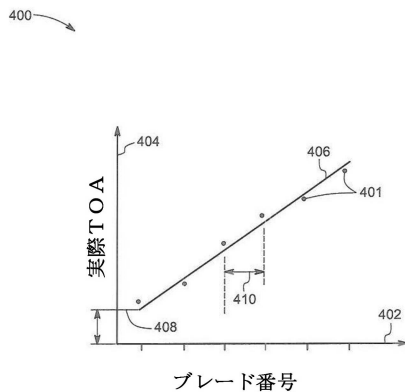


FIG. 4

【図 3】

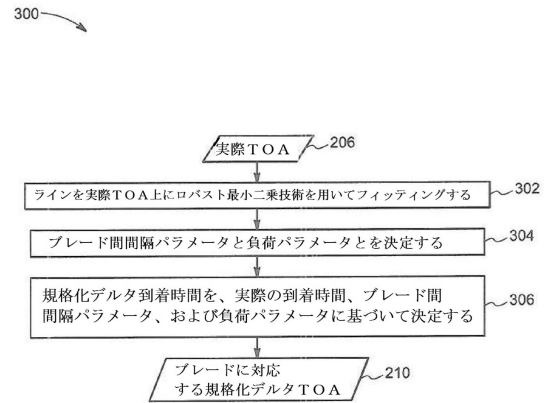


FIG. 3

【図 5】

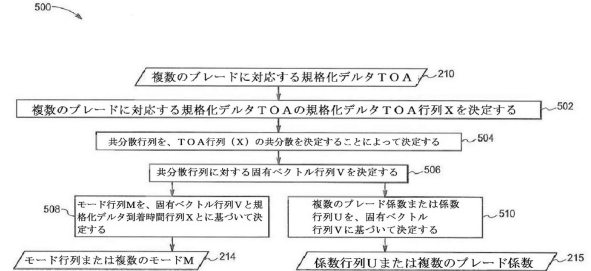


FIG. 5

【図 6】

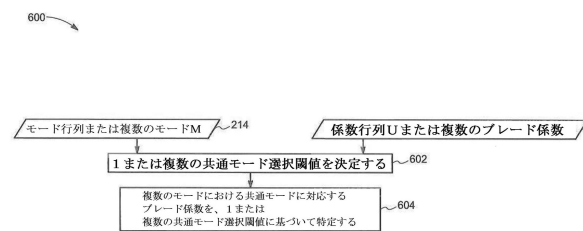


FIG. 6

【図 7 A】

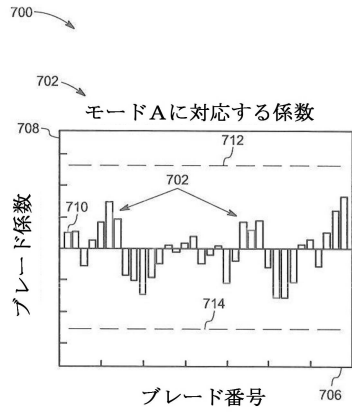


FIG. 7A

【図 7 B】

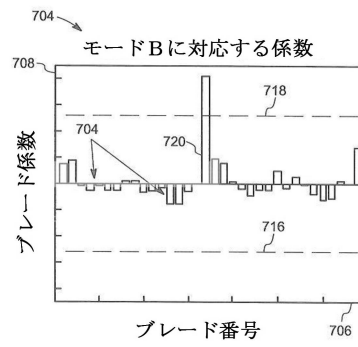


FIG. 7B

【図 8】

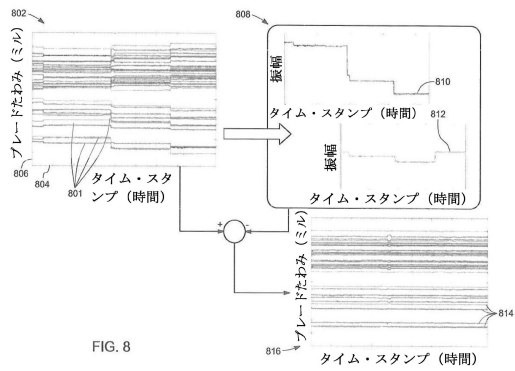


FIG. 8

【図 9】

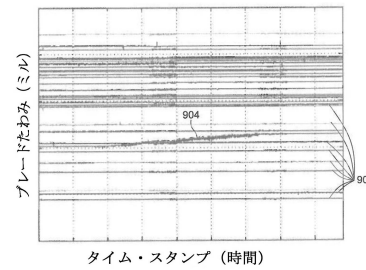


FIG. 9

フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I		
<i>F 0 1 D</i>	<i>5/28</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 0 1 D</i>	<i>5/28</i>	
<i>F 0 2 C</i>	<i>7/00</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 0 2 C</i>	<i>7/00</i>	A
<i>G 0 1 B</i>	<i>7/16</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 0 2 C</i>	<i>7/00</i>	D
<i>G 0 1 B</i>	<i>7/24</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>G 0 1 B</i>	<i>7/16</i>	C
<i>G 0 1 B</i>	<i>21/00</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>G 0 1 B</i>	<i>7/24</i>	
<i>G 0 1 M</i>	<i>99/00</i>	<i>(2011.01)</i>	<i>G 0 1 B</i>	<i>21/00</i>	A
			<i>G 0 1 M</i>	<i>99/00</i>	A

- (72)発明者 ブラシャンス・ダソウザ
 インド、カルナタカ・560066、バンガロール、ホワイトフィールド・ロード、フーディ・ヴィレッジ、ジョン・エフ・ウェルチ・テクノロジー・センター
- (72)発明者 ヴェンカテッシュ・ラジャゴパラン
 インド、カルナタカ・560066、バンガロール、ホワイトフィールド・ロード、フーディ・ヴィレッジ、ジョン・エフ・ウェルチ・テクノロジー・センター

審査官 所村 陽一

- (56)参考文献 特開2012-013079(JP,A)
 特開2012-052536(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|---------|-----------|
| F 0 4 D | 2 9 / 3 2 |
| F 0 1 D | 5 / 1 4 |
| F 0 1 D | 5 / 2 8 |
| F 0 1 D | 2 5 / 0 0 |
| F 0 2 C | 7 / 0 0 |
| F 0 4 D | 2 9 / 3 8 |
| F 0 4 D | 2 9 / 6 4 |
| G 0 1 B | 7 / 1 6 |
| G 0 1 B | 7 / 2 4 |
| G 0 1 B | 2 1 / 0 0 |
| G 0 1 M | 9 9 / 0 0 |