

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-108375

(P2015-108375A)

(43) 公開日 平成27年6月11日(2015.6.11)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>F 0 2 C</b> 9/00 (2006.01)	F 0 2 C 9/00 B	3 C 2 2 3
<b>F 2 3 R</b> 3/00 (2006.01)	F 2 3 R 3/00 E	
<b>F 0 1 D</b> 25/00 (2006.01)	F 0 1 D 25/00 V	
<b>G 0 5 B</b> 23/02 (2006.01)	F 0 1 D 25/00 W	
	G 0 5 B 23/02 3 0 2 R	
審査請求 未請求 請求項の数 19 O L 外国語出願 (全 21 頁)		

(21) 出願番号 特願2014-242720 (P2014-242720)  
 (22) 出願日 平成26年12月1日 (2014.12.1)  
 (31) 優先権主張番号 14/097,540  
 (32) 優先日 平成25年12月5日 (2013.12.5)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 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 1 2 3  
 4 5、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】 故障した燃焼器を検出するためのシステムおよび方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 ガスタービンの動作中に故障した燃焼器を検出する。

【解決手段】 燃焼器 1 0 4 から燃焼力学圧力データ 1 1 0 を検出するように構成されるセンサー 1 0 6 と、センサー 1 0 6 と電子的に通信して、センサーから燃焼力学圧力データを受信するように構成されるコンピューティングデバイス 1 0 2 と、を含む。コンピューティングデバイスは、燃焼力学圧力データを周波数スペクトルに変換し、周波数スペクトルを複数の周波数間隔に分割し、周波数スペクトルから特徴を抽出し、一定時間における対応する周波数間隔内の特徴に対する特徴値を生成し、履歴データベースを生成するために特徴値を格納するようにプログラムされる。コンピューティングデバイスは、故障した燃焼器を示す特徴挙動を認識するようにコンピューティングデバイスを訓練するために、特徴値の履歴データベースを用いて機械学習アルゴリズムを実行するようにさらにプログラムされる。

【選択図】 図 3

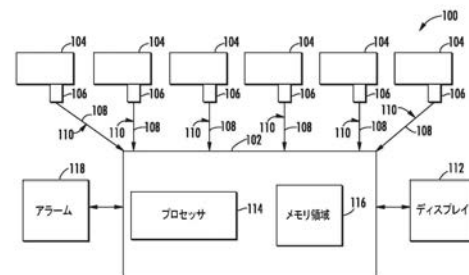


FIG. 3

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

故障した燃焼器を検出するシステム（１００）であって、  
燃焼器（１４、１０４）と、  
前記燃焼器（１４、１０４）から燃焼力学圧力データ（１１０）を検出するように構成されるセンサー（３０、１０６）と、  
前記センサー（３０、１０６）と通信して、前記センサー（３０、１０６）から前記燃焼力学圧力データ（１１０）を受信するように構成されるコンピューティングデバイス（１０２）と、を含み、  
前記コンピューティングデバイス（１０２）は、  
前記燃焼力学圧力データ（１１０）を周波数スペクトル（１２４）に変換し、  
前記周波数スペクトル（１２４）を複数の周波数間隔（１３０）に分割し、  
前記周波数スペクトル（１２４）から特徴（１４４）を抽出し、  
一定時間における対応する周波数間隔（１３０）内の前記特徴（１４４）に対する特徴値（１４２）を生成し、  
前記特徴値（１４２）の履歴データベースを提供するために、前記特徴値（１４２）を電子的に格納し、  
故障した燃焼器を示す特徴挙動を認識するように前記コンピューティングデバイス（１０２）を訓練するために、前記特徴値（１４２）の前記履歴データベースを用いて機械学習アルゴリズムを実行するように、プログラムされるシステム（１００）。

10

20

**【請求項 2】**

前記特徴値（１４２）は、前記対応する周波数間隔（１３０）内の対応する周波数で測定されるピーク振幅に基づく、請求項 1 に記載のシステム（１００）。

**【請求項 3】**

各周波数間隔（１３０）は、燃焼器トーンに対応する、請求項 1 に記載のシステム（１００）。

**【請求項 4】**

前記コンピューティングデバイス（１０２）は、各生成された特徴値（１４２）にタイムスタンプするようにプログラムされる、請求項 1 に記載のシステム（１００）。

**【請求項 5】**

前記燃焼器（１４、１０４）はガスタービン（１６）に結合され、前記特徴（１４４）は前記ガスタービン（１６）の動作モードに対応する、請求項 1 に記載のシステム（１００）。

30

**【請求項 6】**

前記燃焼器（１４、１０４）はガスタービン（１６）に結合され、前記コンピューティングデバイス（１０２）は、前記特徴値（１４２）の前記履歴データベースおよびガスタービン（１６）の様々な動作パラメータの少なくとも１つに基づいて、統計的特徴値を生成するようにプログラムされる、請求項 1 に記載のシステム（１００）。

**【請求項 7】**

前記機械学習アルゴリズムは、管理されない訓練アルゴリズムを含む、請求項 1 に記載のシステム（１００）。

40

**【請求項 8】**

前記履歴データベースは、故障していない燃焼器動作および故障した燃焼器動作を示す特徴値（１４２）を含む、請求項 1 に記載のシステム（１００）。

**【請求項 9】**

前記機械学習アルゴリズムは、管理された訓練アルゴリズムを含む、請求項 8 に記載のシステム（１００）。

**【請求項 10】**

燃焼力学圧力データ（１１０）およびコンピューティングデバイス（１０２）を用いて、故障した燃焼器を検出するための方法（２００）であって、

50

前記コンピューティングデバイス（１０２）において、第１の燃焼器（１４、１０４）と通信するセンサー（３０、１０６）からの燃焼力学圧力データ（１１０）を受信するステップ（２０２）と、

前記第１の燃焼器（１４、１０４）の前記燃焼力学圧力データ（１１０）を周波数スペクトル（１２４）に変換するステップ（２０４）と、

前記周波数スペクトル（１２４）を複数の周波数間隔（１３０）に分割するステップ（２０６）と、

前記周波数スペクトル（１２４）から特徴（１４４）を抽出するステップ（２０８）と、

一定時間における対応する周波数間隔（１３０）内の前記特徴（１４４）に対応する特徴値（１４２）を生成するステップ（２１０）と、 10

前記特徴値（１４２）の履歴データベースを提供するために、前記特徴値（１４２）を格納するステップ（２１２）と、

故障した燃焼器を示す特徴挙動を認識するように前記コンピューティングデバイス（１０２）を訓練するために、前記特徴値（１４２）の前記履歴データベースを用いて機械学習アルゴリズムを実行するステップ（２１４）と、を含む方法（２００）。

【請求項１１】

前記履歴データベースは、故障していない燃焼器動作および故障した燃焼器動作を示す特徴値（１４２）を含み、機械学習アルゴリズムを実行する前記ステップは、管理された訓練アルゴリズムを実行するステップを含む、請求項１０に記載の方法（２００）。 20

【請求項１２】

前記履歴データベースは異常な特徴値（１４２）を含み、機械学習アルゴリズムを実行する前記ステップは、管理されない訓練アルゴリズムを実行するステップを含む、請求項１０に記載の方法（２００）。

【請求項１３】

機械学習アルゴリズムを実行する前記ステップは、前記燃焼器（１４、１０４）の動作中にリアルタイムに実行される、請求項１０に記載の方法（２００）。

【請求項１４】

第２の燃焼器（１４、１０４）の前記燃焼力学圧力データ（１１０）を周波数スペクトル（１２４）に変換するステップと、 30

前記周波数スペクトル（１２４）を複数の周波数間隔（１３０）に分割するステップと、

前記第１の燃焼器（１４、１０４）から抽出される前記特徴（１４４）に対応する前記周波数スペクトル（１２４）から特徴（１４４）を抽出するステップと、

一定時間における前記特徴（１４４）に対する特徴値（１４２）を生成するステップであって、前記特徴値（１４２）は前記第１の燃焼器（１４、１０４）の前記周波数間隔（１３０）と同一の周波数間隔（１３０）内で生成されるステップと、

前記第２の燃焼器（１４、１０４）の前記特徴（１４４）の挙動を前記第１の燃焼器（１４、１０４）の前記特徴（１４４）の前記挙動と比較するステップと、をさらに含む、請求項１０に記載の方法（２００）。 40

【請求項１５】

前記第２の燃焼器（１４、１０４）の前記特徴（１４４）の前記挙動を前記第１の燃焼器（１４、１０４）の前記特徴（１４４）の前記挙動と比較する前記ステップは、前記第２の燃焼器（１４、１０４）の動作中に実行される、請求項１４に記載の方法（２００）。

【請求項１６】

前記第２の燃焼器（１４、１０４）の前記特徴値（１４２）の履歴データベースを生成するために、前記第２の燃焼器（１４、１０４）の前記特徴値（１４２）を格納するステップと、

前記第２の燃焼器（１４、１０４）の前記特徴値（１４２）の前記履歴データベースを 50

用いて機械学習アルゴリズムを実行するステップと、をさらに含む、請求項 14 に記載の方法（200）。

【請求項 17】

前記第 2 の燃焼器（14、104）の前記特徴値（142）の前記履歴データベースは、故障していない燃焼器動作および故障した燃焼器動作に対応する特徴値（142）を含み、機械学習アルゴリズムを実行するステップは、管理された訓練アルゴリズムを実行するステップを含む、請求項 16 に記載の方法（200）。

【請求項 18】

前記第 2 の燃焼器（14、104）の前記特徴値（142）の前記履歴データベースは異常な特徴値（142）を含み、機械学習アルゴリズムを実行するステップは、管理されない訓練アルゴリズムを実行するステップを含む、請求項 16 に記載の方法（200）。

10

【請求項 19】

機械学習アルゴリズムを実行する前記ステップは、前記第 2 の燃焼器（14、104）の動作中にリアルタイムに実行される、請求項 16 に記載の方法（200）。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般的にはガスタービンに関する。特に、本発明は、ガスタービンの動作中に故障した燃焼器を検出するためのシステムおよび方法に関する。

【背景技術】

20

【0002】

ガスタービンなどのターボ機械は、一般的に、吸気口部、コンプレッサ部、複数の燃焼器を含む燃焼部、タービン部、および排気部を含む。吸気口部は、作動流体（例えば空気）を清浄化し調整して、コンプレッサ部に作動流体を供給する。コンプレッサ部は、作動流体を累進的に圧縮して、高圧の圧縮作動流体を燃焼器に供給し、燃焼器では、高温で高圧の燃焼ガスを生成するために、作動流体は燃料と混合され燃焼室で燃焼される。燃焼ガスは高温ガス経路に沿ってタービンセクションに流入し、そこで膨張して仕事を発生させる。例えば、タービンセクションにおける燃焼ガスの膨張は、発電機に接続されるシャフトを回転させて電気を発生させることができる。

【0003】

30

各燃焼器は、様々な燃焼ハードウェア構成要素を含む。例えば、従来のガスタービン燃焼器は、1つまたは複数の燃料ノズル、燃焼器内筒、冷却流スリーブ、遷移ダクト、衝突スリーブ、キャップアセンブリ、ならびに/または、例えばブラケットおよびラジアル圧縮もしくはフラシールなどの様々な取り付けハードウェアを含むことができる。時間とともに、燃焼器内の熱サイクル、振動、および/または圧力パルスを含む様々な要因は、結果として燃焼構成要素の劣化をもたらし、したがって、結果として許容性能範囲外で動作する、または全く機能しない燃焼器をもたらす。その結果、検査および修理のための定期的に計画された停止を実行しなければならず、したがって機械の稼働率に影響を及ぼす。

【0004】

40

許容できるシステム耐久性および信頼性を達成するために、個々の燃焼器および/または燃焼システム全体の健全性を、計画された停止の間に注意深くモニターし制御しなければならない。したがって、燃焼器の動作中に故障した燃焼器を検出および/または予測するためのシステムおよび方法は有益である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】米国特許出願公開第 2013/0173181 号明細書

【発明の概要】

【0006】

50

本発明の態様および利点は、以下で記述され、または、記述から明らかになり、または

本発明の実施を通して学習することができる。

【0007】

本発明の一実施形態は、故障した燃焼器を検出するためのシステムである。システムは、燃焼器と、燃焼器から燃焼力学圧力データを検出するように構成されるセンサーと、センサーと電子的に通信して、センサーから燃焼力学圧力データを受信するように構成されるコンピューティングデバイスと、を含む。コンピューティングデバイスは、燃焼力学圧力データを周波数スペクトルに変換し、周波数スペクトルを複数の周波数間隔に分割し、周波数スペクトルから特徴を抽出し、一定時間における対応する周波数間隔内の特徴に対する特徴値を生成し、履歴データベースを生成するために特徴値を格納するようにプログラムされる。コンピューティングデバイスは、故障した燃焼器を示す特徴挙動を認識するようにコンピューティングデバイスを訓練するために、特徴値の履歴データベースを用いて機械学習アルゴリズムを実行するようにさらにプログラムされる。

10

【0008】

本発明の別の実施形態は、燃焼力学圧力データおよびコンピューティングデバイスを用いて、故障した燃焼器を検出するための方法である。本方法は、コンピューティングデバイスにおいて、第1の燃焼器と電子的に通信するセンサーから燃焼力学圧力データを受信するステップを含む。第1の燃焼器の燃焼力学圧力データは周波数スペクトルに変換され、周波数スペクトルは複数の周波数間隔に分割される。特徴は周波数スペクトルから抽出され、一定時間における対応する周波数間隔内の特徴に対応する特徴値が生成される。それから、特徴値は、特徴値の履歴データベースを提供するために、コンピューティングデバイスを介して格納することができる。機械学習アルゴリズムは、故障した燃焼器を示す特徴挙動を認識するようにコンピューティングデバイスを訓練するために、特徴値の履歴データベースを用いて実行される。

20

【0009】

当業者は、本明細書を精査することにより、このような実施形態の特徴および態様、ならびにその他をより良く理解するであろう。

【0010】

本発明の完全で可能にする開示は、当業者にとってその最良の形態を含み、以下の添付の図面を参照して本明細書の残りの部分においてより詳細に説明される。

【図面の簡単な説明】

30

【0011】

【図1】本開示の範囲内の例示的なガスタービンの機能ブロック図である。

【図2】本開示の様々な実施形態を組み込むことができる例示的な燃焼器の断面側面図である。

【図3】本開示の少なくとも1つの実施形態による、故障した燃焼器を検出するためのシステムのブロック図である。

【図4】本開示による、周波数に対する圧力として測定された例示的な燃焼力学データのグラフである。

【図5】本開示による、図4に示す燃焼力学データから生成された、周波数に対する振幅として測定された例示的な周波数スペクトルのグラフである。

40

【図6】本開示の一実施形態による、図5で示す例示的な周波数スペクトルの周波数間隔に分割されたグラフである。

【図7】本開示の一実施形態による、図6に示す燃焼力学データから抽出された特徴の特徴値を表す、コンピューティングデバイスによって生成された例示的なテーブルまたはリストの図である。

【図8】燃焼力学圧力データを用いて、故障した燃焼器を検出するための方法のフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0012】

本発明の実施形態を示すために、ここで詳細に参照を行うが、その1つまたは複数の

50

実施例を添付の図面に示す。詳細な説明は、図面の特徴を参照するために、数字および文字の符号を用いる。図面および説明の同様のまたは類似の符号は、本発明の同様のまたは類似の部材を指すために用いている。

#### 【0013】

本明細書において、用語は、「第1の」、「第2の」、および「第3の」という用語は、1つの構成要素と別の構成要素とを区別するために交換可能に用いることができ、個々の構成要素の位置または重要性を示すことを意図しない。「上流」および「下流」という用語は、流体経路における流体の流れについての相対的方向を示す。例えば、「上流」は流体がそこから流れる方向を示し、「下流」は流体がそこへ流れる方向を示す。本開示またはその実施形態の態様の要素を導入する場合に、単数の表現および「前記」は1つまたは複数の要素があることを意味している。「備える」、「含む」、および「有する」という用語は、包括的なものであって、列挙された要素以外の付加的な要素があり得ることを意味している。

10

#### 【0014】

各実施例は本発明の説明のために提供するものであって、本発明を限定するものではない。実際、本発明の範囲または趣旨を逸脱せずに、修正および変更が本発明において可能であることは、当業者にとって明らかであろう。例えば、一実施形態の一部として図示または記載する特徴は、さらに別の実施形態を与えるために、別の実施形態で用いることができる。したがって、本発明は、添付の請求の範囲およびそれらの等価物の範囲に入るこのような修正および変更を包括することが意図されている。

20

#### 【0015】

本発明の例示的实施形態について、説明のために、一般的に産業/陸上ベースのガスタービンの文脈で記載しているが、本発明の実施形態が航空機または海洋ガスタービンなどの任意のガスタービンに適用することができ、請求項において特に詳述されない限り、産業/陸上ベースのガスタービンに限定されないことは、当業者は容易に認めるであろう。

#### 【0016】

図面に関して、図1は、コンプレッサ12、1つもしくは複数の燃焼器14を含む燃焼システム、コンプレッサ12に駆動結合されるタービン16、およびコントローラもしくは制御システム18を含むガスタービン10の概略図である。吸気ダクト20は、1つまたは複数の吸気案内翼22を横切ってコンプレッサ12内に周囲空気を導く。コンプレッサ12は、累進的に周囲空気を圧縮し、圧縮空気を燃焼器14に導いて、そこで圧縮空気は燃料と混合され、燃焼して燃焼ガスを生成する。燃焼ガスはタービン16に送られ、そのようにしてシャフト24を回転させる。それから、燃焼ガスは、タービン16の出口から、様々な排出制御および/または消音装置および/または熱回収システムを含むことができる排気ダクト26へ送られ得る。タービン16は、シャフト24を介して発電機28を駆動し、電力または他の機械的仕事を生成することができる。

30

#### 【0017】

特定の構成では、様々なセンサー30は、制御システム18に電子的に結合される。センサー30は、流量センサー、スピードセンサー、火炎検出器センサー、バルブ位置センサー、案内翼角度センサー、温度センサー、音響センサー、圧力センサー、ならびに/または、燃焼器14および/もしくはガスタービンエンジンシステム10の動作に関連する様々なパラメータを検出する他のセンサーを含むことができる。燃料制御システム32は、燃料供給から燃焼器14へ流れる燃料を調整し、各燃焼器14内の様々な燃料ノズルへの燃料の流量制御を可能にする燃料回路間の燃料分割を制御する。また燃料制御システム32は、燃焼器14の燃料のタイプを選択することができ、他の動作の中で燃料の温度を調整することもできる。燃料制御システム32は、個別のユニットであってもよいし、あるいは制御システム18の構成要素であってもよい。

40

#### 【0018】

図2は、本開示の様々な実施形態を組み込むことができる例示的な燃焼器14の断面側面図を提供する。示すように、燃焼器14は、コンプレッサ放出または外部ケーシング3

50

4によって少なくとも部分的に囲まれる。端部カバー36は、外部ケーシング34に結合される。1つまたは複数の燃料ノズル38は、一般的に端部カバー36から燃料ノズルキャップアセンブリ40を部分的に通って軸方向下流に延びる。燃焼器内筒42および/または遷移ダクト44などの環状ライナは、タービン16へ吸気口48に向かって高温燃焼ガスを送るための高温ガス経路46を規定するように、燃料ノズル38および/またはキャップアセンブリ40から下流に延びる。環状流れスリーブ50は、燃焼器内筒42を少なくとも部分的に囲むことができ、環状の衝突スリーブ52は、その間で環状冷却流路54を形成するように遷移ダクト44を少なくとも部分的に囲むことができる。燃焼室56は、燃料ノズル38から下流に規定される。

#### 【0019】

10

本明細書において、「故障していない」燃焼器は、許容できる性能範囲内で動作している燃焼器に対応する。逆に、「故障した」燃焼器は、許容できる性能範囲外で動作しているか、または全く機能しない燃焼器に対応する。時間とともに、熱応力および機械的疲労などの様々な要因は、燃焼器の性能および/または信頼性を劣化させる可能性があり、これらは最終的に燃焼器の故障をもたらす場合がある。したがって、許容できるシステム耐久性および信頼性を達成するために、個々の燃焼器および/または燃焼システム全体の健全性を注意深くモニターし制御しなければならない。本開示は、燃焼器の動作中に取り込まれるリアルタイム燃焼力学データに基づいて、故障した燃焼器を検出および/または予測するためのシステムおよび方法を提供する。

#### 【0020】

20

図3は、本発明の少なくとも1つの実施形態による、ここでは「システム100」と呼ぶ、故障した燃焼器14を検出するためのシステムのブロック図である。一実施形態では、システム100は、コンピューティングデバイス102、燃焼器104、および燃焼器104に結合され、コンピューティングデバイス102と電子的に通信するセンサー106を含む。

#### 【0021】

特定の実施形態では、燃焼器104は、図2に示し記載する燃焼器14と同一のまたは類似する構成とすることができる。システム100は、一般的には1つの燃焼器104および1つのセンサー106を備えるように記載され、図3ではシステムが6つの燃焼器104および6つのセンサー106を備えるように示しているが、本明細書の教示によって導かれる当業者は、システム100の実施形態が1つの燃焼器104および1つのセンサー106を備える構成、または6つの燃焼器104および6つのセンサー106を備える構成に限定されるものではないことを認識するであろう。むしろ、システム100は、任意の数の燃焼器104および/またはコンピューティングデバイス102と通信する任意の数のセンサー106を含むことができる。

30

#### 【0022】

一実施形態では、センサー106は、燃焼器104内の静圧力および/または動圧力を検出および/または測定するように構成される。例えば、一実施形態では、センサー106は、燃焼器104から燃焼力学圧力データ110を検出または測定するように構成される動圧力センサーまたは動圧力プローブを含む。センサー106は、燃焼力学圧力データ110を示す信号108をコンピューティングデバイス102に送信または伝達するように構成される。例えば、センサー106は、コンピューティングデバイス102と通信する無線装置に結合されてもよいし、あるいはコンピューティングデバイス102に配線されてもよい。

40

#### 【0023】

本明細書に記載するコンピューティングデバイス102は、1つまたは複数のプロセッサもしくは処理ユニット、システムメモリ、およびにコンピュータ可読媒体のいくつかの形式を含む。コンピューティングデバイス102は、個別の構成要素であってもよいし、あるいは制御システム18に集積化されてもよい。例えば、これに限らないが、コンピュータ可読媒体はコンピュータ記憶媒体および通信媒体を含むことができる。コンピュータ

50

記憶媒体は、コンピュータ可読命令、データ構造、プログラムモジュール、または他のデータなどの情報を記憶するための任意の方法または技術で実現される揮発性媒体および不揮発性媒体、ならびに取り外し可能な媒体および取り外し不可能な媒体を含むことができる。通信媒体は、典型的には、コンピュータ可読命令、データ構造、プログラムモジュール、または搬送波もしくは他の搬送機構などの変調されたデータ信号における他のデータを具現化し、任意の情報配信媒体を含むことができる。また上記のいずれかの組み合わせも、コンピュータ可読媒体の範囲内に含まれる。

#### 【0024】

コンピューティングデバイス102は、例えばリモートコンピュータなどの1つまたは複数のリモートコンピュータに対する論理接続を用いるネットワーク化された環境で動作することができる。例示的なコンピューティングシステム環境に関して記載しているが、本開示の実施形態は、多くの他の汎用もしくは専用のコンピューティングシステム環境または構成を用いて動作可能である。コンピューティングシステム環境は、本開示の任意の態様の使用または機能性の範囲に関して、いかなる限定も示唆することを意図しない。さらに、コンピューティングシステム環境は、例示的な動作環境において示される構成要素の任意の1つまたは組み合わせに関して、任意の依存性または要件を有すると解釈すべきではない。

#### 【0025】

本開示の態様とともに用いるのに好適であり得る公知のコンピューティングシステム、環境、および/または構成の例としては、これらに限らないが、パーソナルコンピュータ、サーバーコンピュータ、ハンドヘルドもしくはラップトップデバイス、マルチプロセッサシステム、マイクロプロセッサベースのシステム、セットトップボックス、プログラム可能な家電、携帯電話、ネットワークPC、ミニコンピュータ、メインフレームコンピュータ、および上記のシステムもしくはデバイスのいずれかを含む分散コンピューティング環境などが挙げられる。

#### 【0026】

本開示の実施形態は、例えばプログラムモジュールなどの1つまたは複数のコンピュータもしくは他のデバイスによって実行されるコンピュータ実行可能命令またはアルゴリズムの一般的な文脈に記述することができる。アルゴリズムは、1つまたは複数のコンピュータ実行可能構成要素もしくはモジュールに組織することができる。一般に、プログラムモジュールは、これらに限らないが、ルーチン、プログラム、オブジェクト、構成要素、および特定のタスクを実行するか、もしくは特定の抽象的データタイプを実現するデータ構造を含む。

#### 【0027】

本開示の態様は、このような構成要素もしくはモジュールの任意の数および構成により実現することができる。例えば、本開示の態様は、本明細書に図示し記載した特定のアルゴリズムまたは特定の構成要素もしくはモジュールに限定されない。本開示の他の実施形態は、本明細書に図示し記載したものより多くのまたはより少ない機能性を有する異なるアルゴリズムまたは構成要素を含んでもよい。また本開示の態様は、通信ネットワークを通してリンクされた遠隔処理装置によってタスクが実行される分散型コンピューティング環境で実行されてもよい。分散型コンピューティング環境では、プログラムモジュールは、メモリ記憶装置を含むローカルおよびリモートコンピュータ記憶媒体に配置することができる。本開示の態様は、本明細書に記載した命令を実行するように構成された場合に、汎用コンピュータを専用のコンピューティングデバイスに変換することができる。

#### 【0028】

特に明記しない限り、本明細書に図示し記載した本開示の実施形態の動作の実行または遂行の順序は本質的なものではない。すなわち、特に明記しない限り、動作は任意の順序で実行することができ、本開示の実施形態は本明細書に開示したものより多くのまたはより少ない動作を含むことができる。例えば、特定の動作を別の動作の前に、同時に、またはその後実行もしくは遂行することは、本開示の態様の範囲内である。



## 【 0 0 2 9 】

一実施形態では、図 3 に示すように、コンピューティングデバイス 1 0 2 は、ディスプレイ 1 1 2、少なくとも 1 つのプロセッサ 1 1 4、およびメモリもしくはデータ記憶部 1 1 6 を含む。ディスプレイ 1 1 2 は、例えば、コンピューティングデバイス 1 0 2 に組み込まれた、またはコンピューティングデバイス 1 0 2 の外部の容量性タッチスクリーンディスプレイであってもよい。ユーザー入力選択デバイスとして働くディスプレイ 1 1 2 において、ユーザー入力機能性を提供することができる。一実施形態では、コンピューティングデバイスは、アラーム 1 1 8 を含んでもよいし、および / またはそれと通信してもよい。

## 【 0 0 3 0 】

一実施形態では、コンピューティングデバイス 1 0 2 は、センサー 1 0 6 から燃焼力学圧力データ 1 1 0 を含む信号 1 0 8 を受信するように構成される。例えば、コンピューティングデバイス 1 0 2 は、有線および / または無線接続を介してセンサー 1 0 6 と通信することができる。燃焼力学圧力データ 1 1 0 は、一般的には圧力値 1 2 0 として受信され、コンピューティングデバイス 1 0 2 は、図 4 に示すように、時間 1 2 2 に関して圧力値 1 2 0 を追跡するようにプログラムすることができる。

## 【 0 0 3 1 】

一実施形態では、コンピューティングデバイス 1 0 2 は、燃焼力学圧力データ 1 1 0 を、図 5 に示すように、周波数 1 2 8 に対する振幅 1 2 6 を含む周波数スペクトル 1 2 4 に変換するようにプログラムされる。これは、コンピューティングデバイス 1 0 2 を介して 1 つまたは複数の公知のアルゴリズムを実行することによって達成することができる。

## 【 0 0 3 2 】

一実施形態では、コンピューティングデバイス 1 0 2 は、図 6 に示すように、燃焼器 1 0 4 および / またはガスタービン 1 0 の特定の性能および / または動的挙動に関連する周波数間隔 1 3 0 または「バケット」に周波数スペクトル 1 2 4 を分割するようにプログラムされる。当業者にとっては明らかであるが、コンピューティングデバイス 1 0 2 によって実行可能であって、当業者には公知である、データ点を分割するための任意のアルゴリズムを介して達成することができる。

## 【 0 0 3 3 】

燃料と空気との混合物が燃焼器 1 0 4 で燃焼すると、例えば燃料温度、燃料タイプ、燃料空気分割、周囲空気条件、燃焼器ハードウェア構成、燃焼器ハードウェア条件、およびガスタービンの動作モードまたは動作条件などのガスタービン 1 0 の様々な動作パラメータは、一般に、例えば燃焼器 1 4 内の燃焼動圧力脈動または圧力波などの燃焼器の動的挙動に影響を及ぼす。圧力波は、燃焼システムおよび / または個々の燃焼器 1 0 4 の自然の音響モードまたはトーンに対応する定義された振幅および周波数を有する。その結果、燃焼器 1 0 4 の力学的挙動への影響は、センサー 1 0 6 によって検出される燃焼力学圧力データ 1 2 0 に直接反映され得る。

## 【 0 0 3 4 】

特定の実施形態では、図 6 に示すように、周波数間隔 1 3 0 は、様々な音響モードまたはトーンに基づいて分割することができる。例えば、一実施形態では、間隔 1 3 0 は、ブローアウトトーン 1 3 2、低いトーン 1 3 4、中間トーン 1 3 6、および高いトーン 1 3 8 として分割することができる。例えば、ブローアウトトーン 1 3 2 は約 0 ヘルツと約 5 0 ヘルツとの間の周波数間隔範囲に対応することができ、低いトーン 1 3 4 は約 5 0 ヘルツと約 1 0 0 ヘルツとの間の周波数範囲に対応することができ、中間トーン 1 3 6 は約 1 0 0 ヘルツと約 5 0 0 ヘルツとの間の周波数範囲に対応することができ、高いトーン 1 3 8 は約 5 0 0 ヘルツより大きい周波数範囲に対応することができる。

## 【 0 0 3 5 】

燃焼力学圧力データ 1 1 0 は、高い周波数のサンプルレートで収集することができ、いくつかの場合では、毎秒数万個のオーダーのサンプルで、すなわち数 1 0 k H z のサンプリングレートで収集することができる。その結果、周波数スペクトル 1 2 4 内の大量のデ

10

20

30

40

50

ータ点に対応する大量の燃焼力学圧力データ点が生成される。一実施形態では、コンピューティングデバイス 102 は、各周波数間隔 130 内の周波数スペクトル内の周波数データ点を減らすために、「最大ピークピッキング」または「ダウンサンプリング」動作などのコンピュータアルゴリズムを実行するようにプログラムされる。

#### 【0036】

一実施形態では、図 6 に示すように、最大ピークピッキング動作は、特定の周波数間隔 130 内の特定の周波数 128 における最大振幅 140 を識別する。コンピューティングデバイス 102 は、最大振幅 140 および対応する周波数 128 を格納することができ、それは、各周波数間隔 130 について、ピークペアと呼ぶことができる。最大ピークピッキングアルゴリズムは、最大振幅 140 および対応する周波数 128 に対するタイムスタンプを生成することができ、ならびに / または、燃焼器 104 および / もしくはガスタービン 10 の動作条件もしくはモードを記述するパラメータのファミリーを識別することができる。特定の実施形態では、対応するタイムスタンプまたは動作条件記述子に対して、各周波数間隔 130 当たり 1 つのピークペアがある。

#### 【0037】

一実施形態では、コンピューティングデバイス 102 は、周波数スペクトル 124 から、および / または 1 つまたは複数の周波数間隔 130 から「特徴」または複数の特徴を抽出するようにプログラムされる。例えば、コンピューティングデバイス 102 は、特徴抽出アルゴリズムを実行するようにプログラムすることができる。特徴抽出アルゴリズムは、対応する周波数間隔 130 内の 1 つまたは複数のピークペア（振幅 + 周波数）で様々な動作を実行することによって、特徴を抽出することができる。例えば、ピークペアにおける動作は、時間についての移動平均を測定すること、または傾向を正規化することを含むことができる。加えて、または択一的に、周波数間隔 130 にわたってピークペアを結合することによって、特徴を生成することができる。

#### 【0038】

特徴は、例えば、これに限らないが、ピークの数学的変換または統計計算を含むことができる。一実施形態では、特徴は、一般的に、燃焼器 104 から収集される燃焼力学圧力データ 110 に直接的または間接的に影響を及ぼす可能性がある燃焼器 104 の物理に基づく。例えば、特徴は、燃焼器ハードウェア構成、燃焼器ハードウェア構成要素、燃焼器タイプ、振動強度、ガスタービン 10 の燃焼器の方向、またはガスタービン 10 の燃焼器の数に基づくことができる。

#### 【0039】

一実施形態では、図 7 に示すように、コンピューティングデバイス 102 は、一定時間にわたって対応する周波数間隔 130 内で抽出された特徴 144 に対する特徴値 142 を生成するようにプログラムされる。特徴値 142 は、ピークペアの振幅と周波数との積であってもよいし、あるいはピークペアの振幅と周波数との和であってもよいし、あるいはピークペアから抽出された他の任意の値であってもよい。示すように、コンピューティングデバイス 102 は、生成されたまたは計算された特徴値 142 ごとに、タイムスタンプ 146 を提供することができる。

#### 【0040】

特徴 144 は、元のピークペアとのいくつかの重要な関係を維持する。例えば、特徴 144 は個々の燃焼器 104 に対応し、それは特定の周波数間隔 130 に対応する。また、特徴 144 はタイムスタンプまたはタービン動作条件もしくはモードに対応する。このように、コンピューティングデバイス 102 は、図 7 に示すように、リスト、テーブル、または行列を生成するようにプログラムすることができ、それは時間とともに特徴 144 および / または特徴値 142 の挙動を追跡する。図示するように、コンピューティングデバイス 102 は、時間とともに複数の特徴についての特徴値を生成し追跡するようにプログラムすることができ、そして共通のガスタービン 10 に結合される複数の燃焼器 104 についての特徴値を生成し追跡するようにプログラムすることができる。

#### 【0041】

一実施形態では、コンピューティングデバイス 102 は特徴値 142 を電子的に格納するようにプログラムされ、このようにして特徴値 142 の履歴データベースを提供する。例えば、特徴値 142 を格納するためにメモリ 116 を用いることができる。特定の実施形態では、メモリ 116 は、燃焼器履歴データ、ユーザーが定義したしきい値、および音響振動データを格納するために用いることもできる。

#### 【0042】

一実施形態では、コンピューティングデバイス 102 は、燃焼器 104 および / またはガスタービン 10 の様々な動作パラメータに基づく 1 つまたは複数の統計的特徴を生成するようにプログラムすることができ、動作パラメータは排気ガス温度、燃焼バルブ設定、ガスタービン負荷もしくは動作条件、燃焼器燃焼温度、燃料温度、燃料分割、および燃料タイプを含むが、これらに限定されない。加えて、または択一的に、統計的特徴は特徴値の履歴データベースに部分的に基づいてもよい。統計的特徴は、故障していない燃焼器 104 と故障した燃焼器 104 との間の動作プロファイルの一般的な差異に関連し得るデータを提供することができる。統計的特徴は、統計的平均、傾向、異常値などに基づくことができる。

#### 【0043】

一実施形態では、コンピューティングデバイス 102 は、機械学習アルゴリズムを実行するようにプログラムされる。機械学習アルゴリズムは、動作中の 1 つまたは複数の燃焼器の状態を評価するために、オンラインまたはリアルタイムで実行することができる。機械学習アルゴリズムは、故障していない燃焼器および故障した燃焼器を示す特徴挙動を認識するために、コンピューティングデバイス 102 を訓練する。

#### 【0044】

一実施形態では、履歴データベースが特徴値を含み、および / またはコンピューティングデバイス 102 が故障していない燃焼器動作および故障した燃焼器動作を示すデータを含む場合には、故障していない燃焼器および故障した燃焼器を示す特徴挙動を認識するために、機械学習アルゴリズムは、コンピューティングデバイス 102 を訓練する管理された訓練アルゴリズムを含むことができる。機械学習アルゴリズムは、ロジスティック回帰、ニューラルネットワーク、またはサポート・ベクトル・マシンなどを含むことができる。

#### 【0045】

一実施形態では、機械学習アルゴリズムは、ガスタービンの燃焼器および / または複数の燃焼器の異常な挙動を見つけるために、例えばクラスタ化または k 平均分類などの管理されない訓練アルゴリズムを用いる。管理されない訓練アルゴリズムは、燃焼器の故障がどのように燃焼力学データに現れるかは不明であるが、異常な挙動が故障した燃焼器を示すことがあり得ると予測される場合に用いることができる。

#### 【0046】

一旦、コンピューティングデバイス 102 が機械学習アルゴリズムを用いて訓練されると、修理点検中に、または動作中に他のガスタービンの他の燃焼器からの燃焼力学データ 110 から抽出される特徴は、コンピューティングデバイス 102 に入りまたは入力され得る。このように、燃焼器 104 が機能しなくなる前に、故障した燃焼器の挙動を予測または検出することができる。種々の起こり得る故障に対するこのような検出アルゴリズムは、タービンの明白で簡便もしくはタイムリーな検査、保守、または制御動作を次々に起動することができる。

#### 【0047】

本明細書に記載し図示した様々な実施形態は、第 1 の燃焼器 104 およびコンピューティングデバイス 102 からの燃焼力学圧力データ 110 を用いて、故障した燃焼器を検出するための方法 200 を提供する。図 8 に示すように、ステップ 202 で、方法 200 は、コンピューティングデバイス 102 において、第 1 の燃焼器 104 に結合されるセンサー 106 から燃焼力学圧力データ 110 を受信するステップを含む。ステップ 204 で、本方法は第 1 の燃焼器 104 の燃焼力学圧力データ 110 を周波数スペクトル 124 に変

換するステップを含む。ステップ 206 で、方法 200 は周波数スペクトル 124 を複数の周波数間隔 130 に分割するステップを含む。ステップ 208 で、本方法は周波数スペクトル 124 から特徴 144 を抽出するステップを含む。

#### 【0048】

ステップ 210 で、方法 200 は、対応する周波数間隔内の特徴に対応する特徴値を生成するステップを含む。ステップ 212 で、方法 200 は、特徴値の履歴データベースを提供するために特徴値を格納するステップを含む。ステップ 214 で、方法 200 は、故障した燃焼器を示す特徴挙動を認識するようにコンピューティングデバイスを訓練するために、特徴値の履歴データベースを用いて機械学習アルゴリズムを実行するステップを含む。

10

#### 【0049】

一実施形態では、履歴データベースは故障していない燃焼器動作および故障した燃焼器動作を示す特徴値を含み、ステップ 214 は管理された訓練アルゴリズムを実行するステップを含むことができる。一実施形態では、履歴データベースは異常な特徴値を含み、ステップ 214 は管理されない訓練アルゴリズムを実行するステップを含むことができる。一実施形態では、ステップ 214 は、第 1 の燃焼器 104 の動作中にリアルタイムに実行することができる。

#### 【0050】

一実施形態では、方法 200 は、第 2 の燃焼器の燃焼力学圧力データを周波数スペクトルに変換するステップと、周波数スペクトルを複数の周波数間隔に分割するステップと、第 1 の燃焼器から抽出される特徴に対応する周波数スペクトルから特徴を抽出するステップと、一定時間における特徴に対する特徴値を生成するステップであって、特徴値は第 1 の燃焼器の周波数間隔と同一の周波数間隔内で生成されるステップと、第 2 の燃焼器の故障した燃焼器動作を検出および / または予測するために、第 2 の燃焼器の特徴の挙動を第 1 の燃焼器の特徴の挙動と比較するステップと、をさらに含むことができる。第 2 の燃焼器の特徴の挙動を第 1 の燃焼器の特徴の挙動と比較するステップは、第 2 の燃焼器の動作中に実行される。

20

#### 【0051】

本方法は、第 2 の燃焼器の特徴値の履歴データベースを生成するために第 2 の燃焼器の特徴値を格納するステップと、第 2 の燃焼器の特徴値の履歴データベースを用いて機械学習アルゴリズムを実行するステップと、をさらに含むことができる。第 2 の燃焼器の特徴値の履歴データベースが故障していない燃焼器動作および故障した燃焼器動作に対応する特徴値を含む場合には、機械学習アルゴリズムを実行するステップは、管理された訓練アルゴリズムを実行するステップを含むことができる。第 2 の燃焼器の特徴値の履歴データベースが異常な特徴値を含む場合には、機械学習アルゴリズムを実行するステップは、管理されない訓練アルゴリズムを実行するステップを含むことができる。本方法は、第 2 の燃焼器の動作中にリアルタイムに機械学習アルゴリズムを実行するステップをさらに含むことができる。

30

#### 【0052】

この明細書は、本発明を開示するために実施例を用いており、最良の形態を含んでいる。また、いかなる当業者も本発明を実施することができるよう実施例を用いており、任意のデバイスまたはシステムを製作し使用し、任意の組み込まれた方法を実行することを含んでいる。本発明の特許され得る範囲は、請求項によって定義され、当業者が想到する他の実施例を含むことができる。このような他の実施例が請求項の字義通りの文言と異なる構造要素を含む場合、または、それらが請求項の字義通りの文言と実質的な差異がない等価な構造要素を含む場合には、このような他の実施例は特許請求の範囲内であることを意図している。

40

#### 【符号の説明】

#### 【0053】

10 ガスタービン

50

1 2	コンプレッサ	
1 4	燃 焼 器	
1 6	タービン	
1 8	制 御 シ ス テ ム	
2 0	吸 気 ダ ク ト	
2 2	案 内 翼	
2 4	シャフト	
2 6	排 気 ダ ク ト	
2 8	発 電 機	
3 0	セ ン サ ー	10
3 2	燃 料 制 御 シ ス テ ム	
3 4	外 部 ケ ー シ ン グ	
3 6	端 部 カ バ ー	
3 8	燃 料 ノ ズ ル	
4 0	キャップアセンブリ	
4 2	燃 焼 器 内 筒	
4 4	遷 移 ダ ク ト	
4 6	高 温 ガ ス 経 路	
4 8	吸 気 口	
5 0	流 れ ス リ ー プ	20
5 2	衝 突 ス リ ー プ	
5 4	環 状 冷 却 流 路	
5 6	燃 焼 室	
1 0 0	シ ス テ ム	
1 0 2	コ ン ピ ュ ー テ ィ ン グ デ バ イ ス	
1 0 4	燃 焼 器	
1 0 6	セ ン サ ー	
1 0 8	信 号	
1 1 0	燃 焼 力 学 圧 力 デ ー タ	
1 1 2	デ ィ ス プ レ イ	30
1 1 4	プ ロ セ ッ サ	
1 1 6	デ ー タ 記 憶 部 ( メ モ リ )	
1 1 8	ア ラ ー ム	
1 2 0	圧 力 値	
1 2 2	時 間	
1 2 4	周 波 数 ス ペ ク ト ル	
1 2 6	振 幅	
1 2 8	周 波 数	
1 3 0	周 波 数 間 隔	
1 3 2	ブ ロ ー ア ウ ト ト ー ン	40
1 3 4	低 い ト ー ン	
1 3 6	中 間 ト ー ン	
1 3 8	高 い ト ー ン	
1 4 0	最 大 振 幅	
1 4 2	特 徴 値	
1 4 4	特 徴	
1 4 6	タ イ ム ス タ ン プ	
2 0 0	方 法	
2 0 2	ス テ ッ プ	
2 0 4	ス テ ッ プ	50

2	0	6	ステップ
2	0	8	ステップ
2	1	0	ステップ
2	1	2	ステップ
2	1	4	ステップ

【 図 1 】

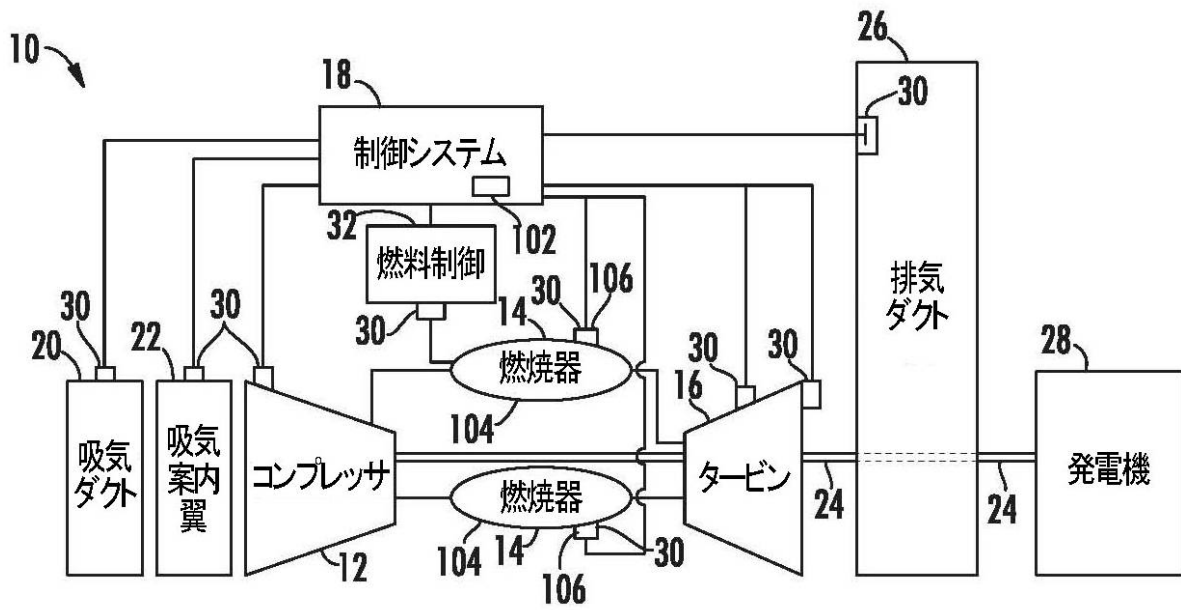
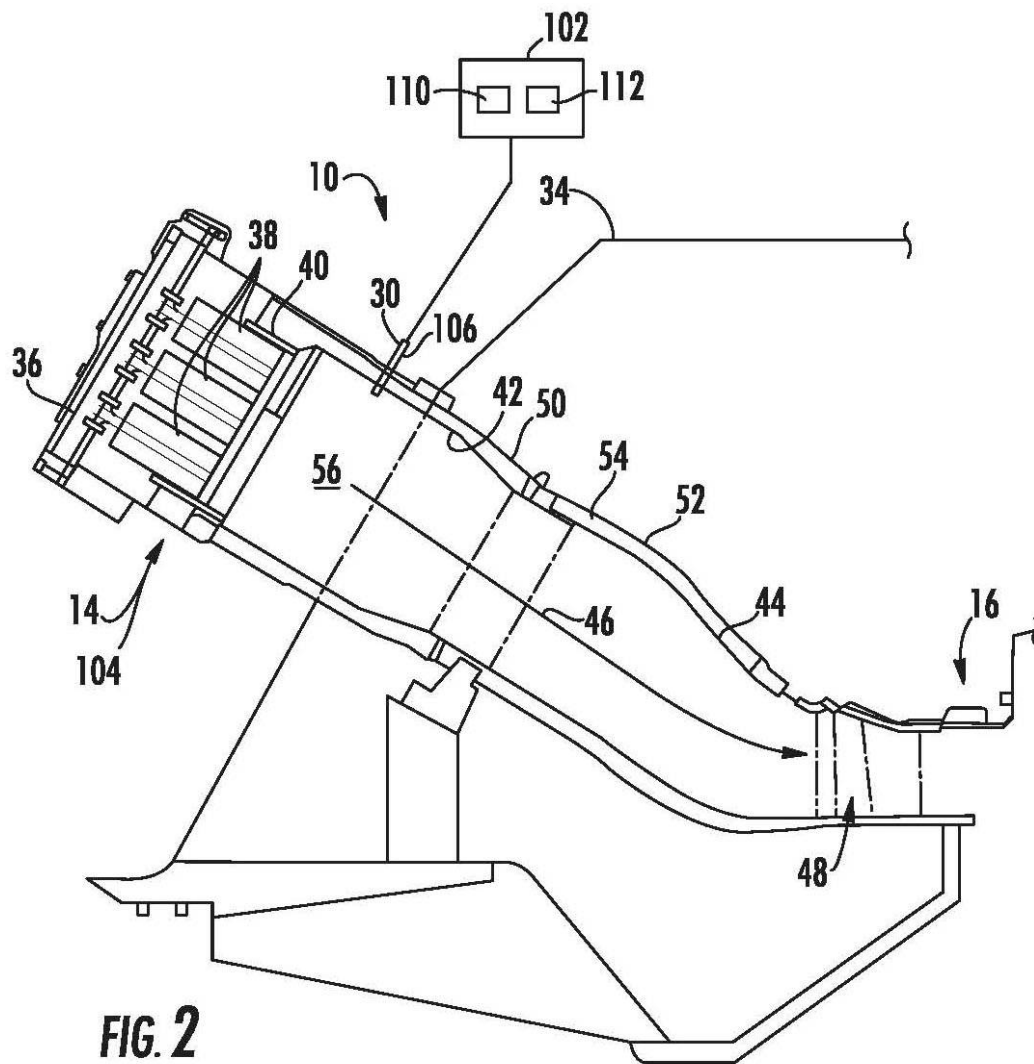


FIG. 1

【 図 2 】



【 図 3 】

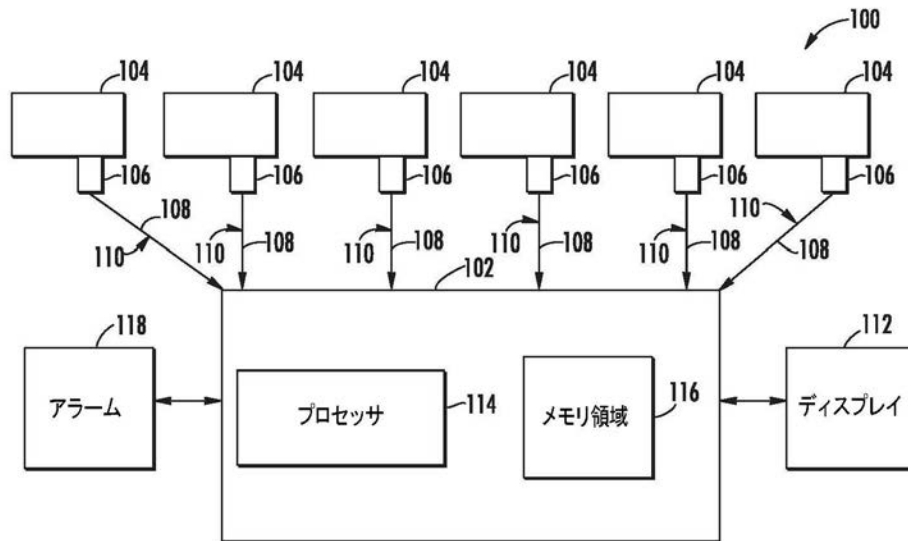


FIG. 3

【 図 4 】

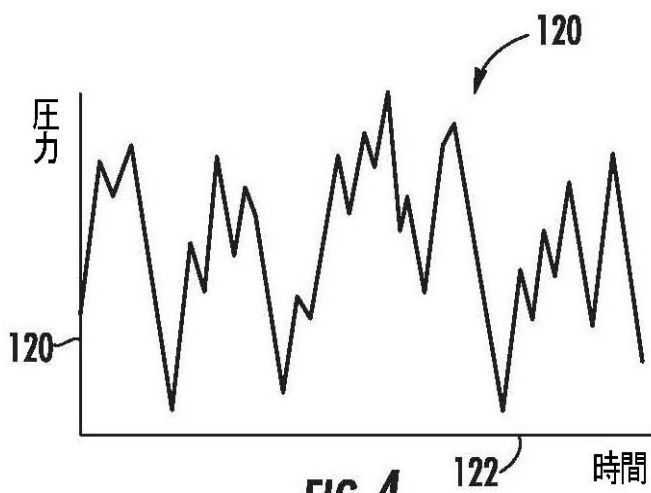
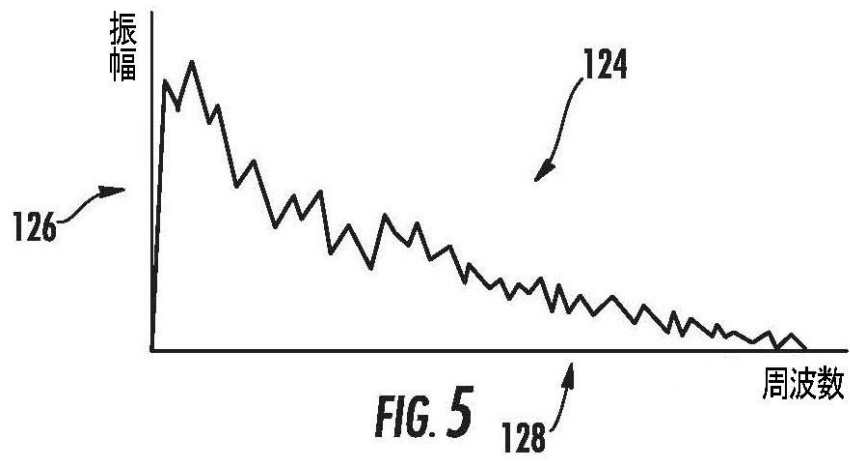


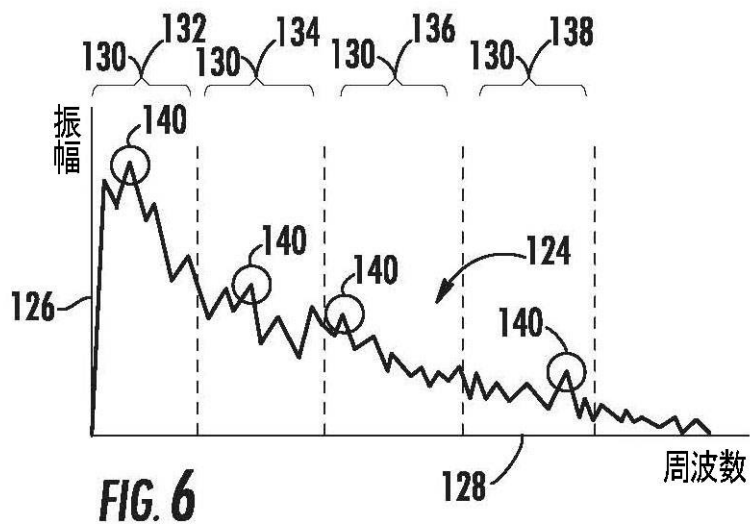
FIG. 4



【 图 5 】



【 图 6 】



【 図 7 】

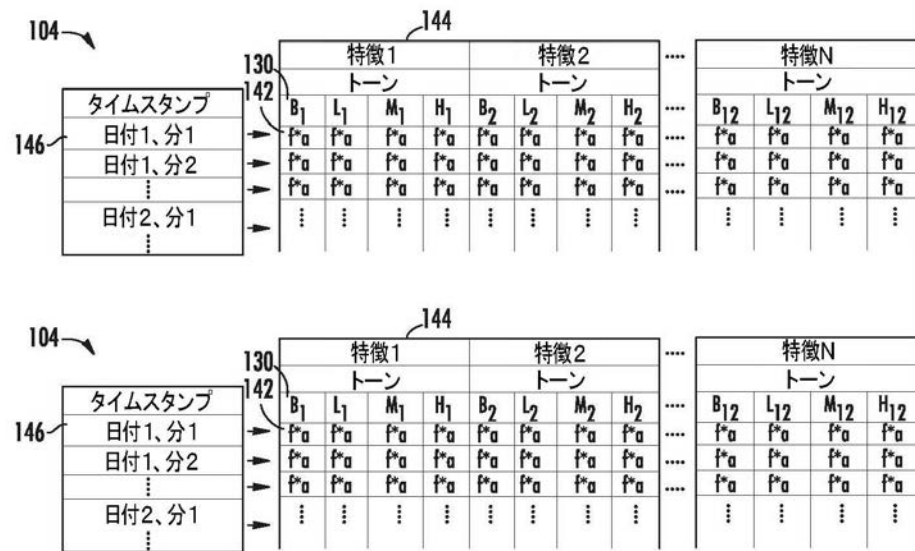


FIG. 7

【 図 8 】

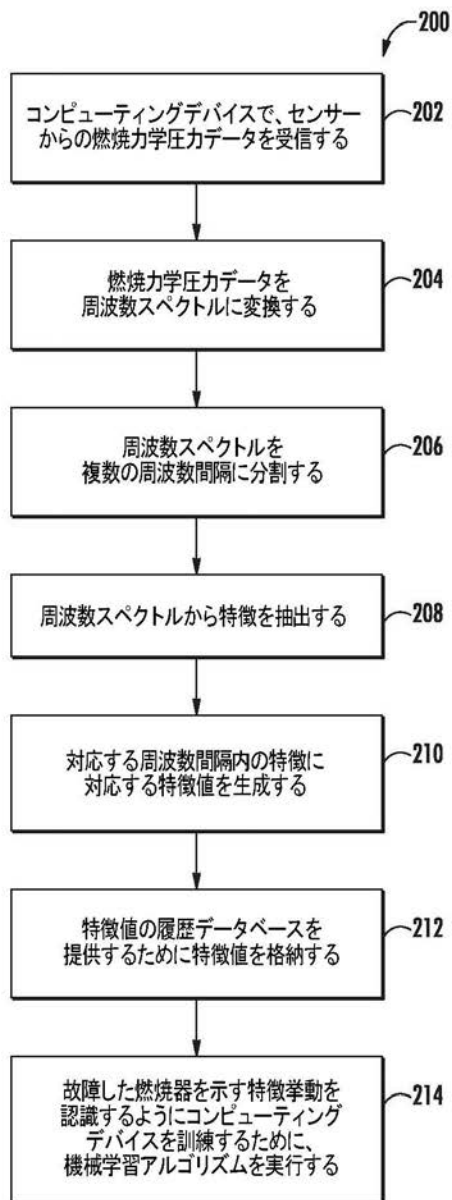


FIG. 8

---

フロントページの続き

- (72)発明者 ロマノ・パトリック・マリエッタ  
アメリカ合衆国、ジョージア州、アトランタ、ワイルドウッド・パークウェイ、4200番
- (72)発明者 マシュー・フランシス・レモン  
アメリカ合衆国、ジョージア州、アトランタ、ワイルドウッド・パークウェイ、4200番
- (72)発明者 スブラット・ナンダ  
アメリカ合衆国、テキサス州、ヒューストン、ウエスト・ループ・サウス、1333番
- (72)発明者 ジョナサン・デイヴィッド・ホワイト  
アメリカ合衆国、ジョージア州、アトランタ、ワイルドウッド・パークウェイ、4200番
- (72)発明者 アチャレッシュ・クマール・パンデイ  
アメリカ合衆国、サウスカロライナ州、グリーンヴィル、ガーリングトン・ロード、300番

Fターム(参考) 3C223 AA02 AA18 BA01 CC01 DD01 EB01 FF04 FF08 FF13 FF24  
FF26 GG01 HH02

【外国語明細書】  
2015108375000001.pdf