

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5844978号
(P5844978)

(45) 発行日 平成28年1月20日(2016.1.20)

(24) 登録日 平成27年11月27日(2015.11.27)

(51) Int.Cl.

F 1

FO2C 7/00 (2006.01)
FO1D 25/00 (2006.01)FO2C 7/00
FO1D 25/00
FO1D 25/00A
W
V

請求項の数 10 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2011-25719 (P2011-25719)
 (22) 出願日 平成23年2月9日 (2011.2.9)
 (65) 公開番号 特開2011-163345 (P2011-163345A)
 (43) 公開日 平成23年8月25日 (2011.8.25)
 審査請求日 平成26年1月31日 (2014.1.31)
 (31) 優先権主張番号 12/704, 031
 (32) 優先日 平成22年2月11日 (2010.2.11)
 (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 聰志
 (74) 代理人 100105588
 弁理士 小倉 博
 (74) 代理人 100129779
 弁理士 黒川 俊久
 (72) 発明者 シャオモ・ジャン
 アメリカ合衆国、サウスカロライナ州、グ
 リーンヴィル、ガーリントン・ロード、3
 00番

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ガスタービンを監視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】

供用中のガスタービン(10)の性能を監視するシステム(20)であって、
 a. 比較ガスタービンからのパラメータ情報のデータベース(26)を収容するメモリ要素と、

b. 前記供用中のガスタービン(10)からのパラメータ情報を包含するユニットデータ信号(30)と、前記供用中のガスタービン(10)のリスク値を包含するリスク信号(32)とを生成する入力装置(34)と、

c. 前記メモリ要素及び前記入力装置(34)と通信し、前記ユニットデータ信号(30)を前記比較ガスタービンからのパラメータ情報のデータベース(26)に組み込み、前記供用中のガスタービン(10)のパラメータ情報を推定し、前記供用中のガスタービン(10)の推定されたパラメータ情報が所定のパラメータ限界に達する条件付きリスクを算出するプロセッサ(22)と、

前記プロセッサ(22)により生成され、補修又は保守スケジュール設定情報の少なくとも1つを含む出力信号(42)と、
 を備えるシステム(20)。

【請求項 2】

比較ガスタービンからのパラメータ情報を含む、前記データベース(26)と前記プロセッサ(22)との間のフリートモデル信号(24)を更に備える、
 請求項1に記載のシステム(20)。

【請求項 3】

前記比較ガスタービンからのパラメータ情報のデータベース（26）が、前記比較ガスタービンの運転、補修、又は保守のうちの少なくとも1つを反映したデータを含む、請求項1又は2の何れかに記載のシステム（20）。

【請求項 4】

前記ユニットデータ信号（30）が、前記供用中のガスタービン（10）の運転、補修、又は保守のうちの少なくとも1つを反映したデータを含む、請求項1から3の何れかに記載のシステム（20）。

【請求項 5】

前記プロセッサ（22）が、前記条件付きリスクとリスク値との比較に基づいて前記出力信号（42）を生成する、

請求項1又は4の何れかに記載のシステム（20）。

【請求項 6】

前記出力信号（42）が、前記供用中のガスタービン（10）における構成要素の推定有効寿命を含む、

請求項1又は5の何れかに記載のシステム（20）。

【請求項 7】

供用中のガスタービン（10）の性能を監視する方法であって、

a. 比較ガスタービンからのパラメータ情報を受け取る段階と、

b. 前記供用中のガスタービン（10）からのパラメータ情報を前記比較ガスタービンからのパラメータ情報に加える段階と、

c. 前記供用中のガスタービン（10）のパラメータ情報を推定する段階と、

d. 前記供用中のガスタービン（10）の推定されたパラメータ情報が所定のパラメータ限界に達する条件付きリスクを算出する段階と、

e. 前記条件付きリスクに基づいて前記供用中のガスタービン（10）の補修又は保守スケジュールの少なくとも1つを包含する出力信号（42）を生成する段階と、を含む方法。

【請求項 8】

前記条件付きリスクを所定リスク値と比較する段階を更に含む、

請求項7に記載の方法。

30

【請求項 9】

前記条件付きリスクが前記所定リスク値よりも小さい場合に補修又は保守を遅延させる段階を更に含む、

請求項8に記載の方法。

【請求項 10】

前記条件付きリスクが前記所定リスク値よりも小さくない場合に補修又は保守を早める段階を更に含む、

請求項8に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】**【0001】**

本発明は、全体的に、ガスタービンの健全性を監視するためのシステム及び方法に関する。より具体的には、本発明は、個々のガスタービンからの実際の情報を用いて汎用ガスタービンモデルを調整し、個々のガスタービンの補修及び/又は保守間隔を提案するシステム及び方法を記載している。

【背景技術】**【0002】**

ガスタービンは産業用及び商用運転で広く使用されている。図1に示すように、典型的なガスタービン10は、前方に軸流圧縮機12と、中央付近に1つ又はそれ以上の燃焼器

50

14と、後方にタービン16とを含む。圧縮機12は、複数段の回転ブレード及び固定ベーンを含む。周囲空気が圧縮機12に入り、回転ブレード及び固定ベーンが作動流体（空気）に運動エネルギーを漸次的に与え、該作動流体を高エネルギー状態にする。作動流体は圧縮機12から出て燃焼器14に流れ、ここで燃料18と混合して点火され、高い温度、圧力、及び速度を有する燃焼ガスを発生する。燃焼ガスは燃焼器14から出てタービン16に流れ、ここで膨張して仕事を生成する。

【0003】

ガスタービンは、他の何れかの機械的装置と同様に、適正な運転を確保するために定期的な補修及び保守を必要とする。一般的な手法として、ガスタービンの「フリート」、特に類似のクラス又はタイプの比較ガスタービンに関する過去の経験的知識を統計的に解析して、他のガスタービンによって生じる予想される摩耗及び損傷を提案することができるフリートモデルを構築することができる。フリートモデルに基づいて、補修を行うための計画外の運転停止、及び不要な予防的保守を実施するための不必要的運転停止の両方のリスクを最小限にする最適な間隔で、提案、補修、及び保守をスケジュール設定することができる。

10

【0004】

しかしながら、個々のガスタービンの実際の性能は、フリートモデル毎に変わる可能性がある。例えば、個々のガスタービンは、構成、製造公差、及び組み立てに僅かな差違を有する場合があり、その結果、フリートモデルと比較して摩耗及び損傷の異なるレベルを生じる可能性がある。加えて、個々のガスタービンが実際に受ける作動、補修、及び保守履歴は、フリート平均とは異なる可能性がある。例えば、湿潤及び腐食環境で作動するガスタービンは、腐食、ピッティング、及びエミッഷョンに関連する問題に対処するために、フリートモデルに比べてより多くの頻度の補修及び保守が必要となる。逆に、より少ない始動及び運転停止サイクルを生じる他のガスタービンでは、繰り返し応力に関連する予防的保守を実施するための運転停止の頻度がフリートモデルに比べてより少なくて済む場合がある。各実施例において、個々のガスタービンに関連する実データに基づいたフリートモデルに対する調整は、補修及び保守を最適にスケジュール設定する機能を向上させることになる。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0005】

【特許文献1】米国特許第7,536,277号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

従って、ガスタービンの性能及び作動を監視するための改善されたシステム及び方法が望ましいことになる。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の態様及び利点は、以下の説明において記載され、又は本説明から明らかにすることができる、或いは、本発明を実施することによって理解することができる。

40

【0008】

本発明の1つの実施形態は、供用中のガスタービンの性能を監視するシステムである。本システムは、比較ガスタービンからのパラメータ情報のデータベースを収容する第1のメモリ要素と、入力装置（34）とを含み、当該入力装置が、供用中のガスタービンからのパラメータ情報を包含するユニットデータ信号と、供用中のガスタービンのリスク値を包含するリスク信号とを生成する。第1のメモリ要素及び入力装置と通信するプロセッサは、ユニットデータ信号を比較ガスタービンからのパラメータ情報のデータベースに組み込み、供用中のガスタービンのパラメータ情報を提案し、供用中のガスタービンの提案されたパラメータ情報が所定のパラメータ限界に達する条件付きリスクを算出する。プロセ

50

ツサにより生成された出力信号は、補修又は保守スケジュール設定情報の少なくとも1つを含む。

【0009】

本発明の別の実施形態は、供用中のガスタービンの性能を監視する方法である。本方法は、比較ガスタービンからのパラメータ情報を受け取る段階と、供用中のガスタービンからのパラメータ情報を比較ガスタービンからのパラメータ情報に加える段階と、供用中のガスタービンのパラメータ情報を提案する段階と、を含む。本方法は更に、供用中のガスタービンの提案されたパラメータ情報が所定のパラメータ限界に達する条件付きリスクを算出する段階と、条件付きリスクに基づいて供用中のガスタービンの補修又は保守スケジュールの少なくとも1つを包含する出力信号を生成する段階と、を含む。

10

【0010】

本発明の更に別の実施形態は、比較ガスタービンからのパラメータ情報を包含するフリートモデル信号を受け取る段階と、供用中のガスタービンからのパラメータ情報を比較ガスタービンからのパラメータ情報に加える段階と、供用中のガスタービンのパラメータ情報を提案する段階とを含む、供用中のガスタービンの性能を監視する方法である。本方法は更に、供用中のガスタービンの提案されたパラメータ情報が所定のパラメータ限界に達する条件付きリスクを算出する段階と、条件付きリスクに基づいて供用中のガスタービンの補修スケジュール、保守スケジュール、又は提案された有効寿命のうちの少なくとも1つを包含する出力信号を生成する段階と、を含む。

【0011】

20

当業者であれば、本明細書を精査するとこのような実施形態の特徴及び態様、並びにその他の理解されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】典型的なガスタービンシステムの簡易ブロック図。

【図2】本発明の1つの実施形態による、供用中のガスタービンを監視するためのシステムの機能ブロック図。

【図3】フリートモデルを更新し確認するアルゴリズム。

【図4】ユニットモデルを更新し確認するアルゴリズム。

【図5】ユニットリスク解析を実施するアルゴリズム。

30

【図6】部品又は構成要素の残りの有効寿命を算出するアルゴリズム。

【図7】本発明の1つの実施形態による、ユニットリスク解析によって生成することができる仮説的損傷伝搬曲線のグラフ。

【図8】本発明の1つの実施形態による、仮説的有効寿命曲線のグラフ。

【発明を実施するための形態】

【0013】

添付図の参照を含む本明細書の残りの部分において、当業者にとって最良の形態を含む本発明の完全且つ有効な開示をより詳細に説明する。

【0014】

40

ここで、その1つ又はそれ以上の実施例が添付図面に例示されている本発明の実施形態について詳細に説明する。詳細な説明では、図面中の特徴部を示すために参照符号及び文字表示を使用している。本発明の同様の又は類似した要素を示すために、図面及び説明において同様の又は類似した表示を使用している。

【0015】

各実施例は、本発明の限定ではなく、本発明の例証として提示されている。実際には、当業者であれば、本発明においてその技術的範囲及び技術思想から逸脱することなく修正及び変形を加えることができることは明らかであろう。例えば、1つの実施形態の一部として例示し又は説明した特徴部は、別の実施形態で使用して更に別の実施形態を生成することができる。従って、本発明は、このような修正及び変形を請求項及びその均等物の技術的範囲内に属するものとして保護することを意図している。

50

【0016】

本明細書で検討されるシステム及び方法は、プロセッサ、サーバ、メモリ、データベース、ソフトウェアアプリケーション、及び／又は他のコンピュータベースのシステム、並びに実施される処置及びこのようなシステムとの間で送受する情報について言及する。当業者であれば、コンピュータベースのシステムの本質的な融通性により、構成要素間のタスク及び機能の多様な実施可能な構成、組み合わせ、及び分割が可能になる点は理解されるであろう。例えば、本明細書で検討されコンピュータに実装されるプロセスは、単一のサーバ又はプロセッサ、或いは組み合わせて機能するこのような複数の要素を用いて実装することができる。データベース並びに他のメモリ／媒体要素及びアプリケーションは、単一のシステム上に実装されるか、或いは複数のシステムにわたって分散されてもよい。分散された構成要素は、順次的に又は並行して作動させることができる。当業者には理解されるこのような全ての変形形態は、本主題の技術的構成及び範囲内に含まれるものとする。

10

【0017】

データが、第1及び第2のコンピュータシステム、処理装置、又はその構成要素の間で取得されてアクセスされるときには、実際のデータはシステム間で直接的又は間接的に移動することができる。例えば、第1のコンピュータが、第2のコンピュータからファイル又はデータにアクセスする場合、このアクセスには、1つ又はそれ以上の中間コンピュータ、プロキシ、又は同様のものが関与することができる。実際のファイル又はデータはコンピュータ間を移動することができ、或いは、第2のコンピュータが第1のコンピュータ以外のコンピュータから実際のデータにアクセスするのに用いるポインタ又はメタファイルを1つのコンピュータが提供することができる。

20

【0018】

本明細書で検討される種々のコンピュータシステムは、何れかの特定のハードウェア・アーキテクチャ又は構成に限定されるものではない。本明細書で記載される方法及びシステムの実施形態は、所望の機能を提供するよう何らかの好適な方法で適合された1つ又はそれ以上の汎用又は専用のコンピュータデバイスにより実装することができる。デバイスは、本発明の主題と相補的な又は無関係の追加機能を提供するよう適合することができる。例えば、1つ又はそれ以上のコンピュータデバイスは、コンピュータ可読形式でレンダリングされたソフトウェア命令にアクセスすることによって記載の機能を提供するよう適合することができる。ソフトウェアが使用されるときには、何れかの好適なプログラミング、スクリプト記述、又は他のタイプの言語もしくは複数の言語の組み合わせを用いて、本明細書に含まれる教示を実施することができる。しかしながら、必ずしもソフトウェアに限定する必要はなく、或いは、全く使用しなくてもよい。例えば、詳細な検討を加える必要もなく当業者であれば理解されるように、本明細書で記載され開示される方法及びシステムの幾つかの実施形態はまた、限定ではないが特定用途の回路を含む、ハードワイヤードロジック又は他の回路によって実装することができる。勿論、コンピュータにより実行されるソフトウェア及びハードウェアロジック又は他の回路の種々の組み合わせも好適とすることができます。

30

【0019】

本明細書で開示される方法の実施形態は、このような方法の実施を動作可能にする1つ又はそれ以上的好適なコンピュータデバイスによって実行することができることは当業者であれば理解されるはずである。上述のように、このような装置は、少なくとも1つのコンピュータにより実行されたときに、少なくとも1つのコンピュータが本発明の主題の方法の1つ又はそれ以上の実施形態を実施するようにするコンピュータ可読命令を具現化する1つ又はそれ以上のコンピュータ可読媒体にアクセスすることができる。あらゆる好適な1つ又は複数のコンピュータ可読媒体を用いて、限定ではないが、ディスクケット、ドライブ、及び他の磁気ベース記憶媒体、並びに、ディスク(CD-ROMS、DVD-ROMS、及びその変形形態)を含む光学記憶媒体、フラッシュ、RAM、ROM、及び他の半導体メモリデバイス、その他を含む、本発明で開示された主題を実装又は実施すること

40

50

ができる。

【0020】

条件ベースの保守システムは、フリートモデルの確率的解析、ユニット固有データ、及びオペレータ選択のリスクパラメータを適用し、ガスタービンのような高忠実度システムの補修及び／又は保守間隔を最適化するコスト効率のよいシステム及び方法を提供する。ガスタービンの各固有の故障メカニズムについてのフリートモデルは、Bayesian推論及びMarkov Chain Monte Carlo（マルコフ連鎖モンテカルロ）（MCMC）シミュレーションなど、マルチレベル確率論的モデル技術を履歴フリートデータに適用することによって構築することができる。各フリートモデルの精度は、定期的に検証及び／又は確認することができ、特定のガスタービンから得られるユニット固有データは、各フリートモデルに付加され、当該フリートモデルを調整又は更新し、或いは、各固有故障メカニズムについて特定のガスタービンをより高精度にモデル化したユニットモデルを生成することができる。オペレータが選択したリスクパラメータを更新フリートモデルに適用することによって、作動上の可用性を高め、計画外で不必要的運転停止を削減し、及び／又は特定のガスタービンの有効寿命を延ばす最適な間隔で補修及び／又は保守項目をスケジュール設定する機能が向上する。
10

【0021】

例証として、特定のガスタービンのユニット固有データが、フリートモデルにより提供される提案と比べて摩耗又は損傷が低いことを示す場合、特定のガスタービンの可用性は、補修及び／又は保守事象間の間隔を延長することにより改善することができる。反対に、特定のガスタービンのユニット固有データが、フリートモデルにより提供される提案と比べて、摩耗又は損傷が大きいことを示す場合、補修及び／又は保守事象間の間隔を短くする場合があり、高コストの計画外運転停止ではない計画的な運転停止を生じることになる。何れの場合においても、調整される補修及び／又は保守スケジュールは、特定のガスタービンの信頼性及び運転を改善し、その結果、特定のガスタービンにおいてより正確で、場合によっては有効寿命の延長をもたらすことになる。
20

【0022】

図2は、本発明の1つの実施形態による、供用中のガスタービン10を監視するシステム20を示している。用語「供用中のガスタービン」とは、フリートのガスタービンとは区別される特定の又は固有のガスタービンを指す。システム20は一般に、1つ又はそれ以上のメモリ／媒体要素にアクセスするプログラミングを有するプロセッサ22を含む。プロセッサ22は、データベース26からのモデル信号24と、入力装置34からのフリートデータ信号28、ユニットデータ信号30、及び／又はリスク信号32を受け取る。用語「信号」とは、情報の何らかの電気的伝送を指す。フリートモデル信号24は、データベース26に含まれるフリートモデルにより提案される比較ガスタービンのパラメータ情報を含む。システム20は、ロック36及び図3に示すアルゴリズムにより表されるマルチレベル確率論的モデル技術、Bayesian推論、及びMCMCシミュレーションを適用し、フリートモデル信号24に含まれる提案パラメータ情報を検証及び／又は確認し、更新されたフリートモデル信号33を生成する。システム20は、ユニットデータ信号30に含まれる供用中ガスタービン10からのパラメータ情報を更新フリートモデル信号33に付加し、ロック38及び図4に示すアルゴリズムにより表される、好ましくはユニットモデルと呼ばれる更新フリートモデルを生成する。ユニットモデルは、供用中のガスタービン10の提案パラメータ情報41を生成する。図2のロック40並びに図5及び6に示すアルゴリズムにより表されるユニットリスク解析は、ユニットモデルからの提案されたパラメータ情報41をリスク信号42と組み合わせて、補修44及び／又は保守45スケジュールを反映した出力信号42、及び／又は供用中のガスタービン10の有効寿命提案48を生成する。
30
40

【0023】

本明細書で検討されるプロセッサ22は、どのようなハードウェア・アーキテクチャ又は構成にも限定されるものではない。代わりに、プロセッサ22は、メモリ媒体（例えは
50

、図2のブロック36、38、及び／又は40)、データベース、及びコンピュータ可読形式でレンダリングされたソフトウェア命令もしくはプログラム回路により指示される他のハードウェアにアクセスすることにより所望の機能を提供するよう適合される汎用又は専用のコンピュータデバイスを含むことができる。例えば、プロセッサ22は、単一のサーバ、単一のマイクロプロセッサ、限定ではないが特定用途回路を含むハードウェアロジック、又は組み合わせて機能するこのような複数の要素を含むことができる。

【0024】

データベース26は、ガスターインの「フリート」、特に類似のクラス又はタイプの比較ガスターインに関して利用可能なソースから蓄積した過去のパラメータ情報を収容する。データベース26は、単一のシステム上に実装され、或いは複数のシステムにわたって分散されるメモリ／媒体要素及びアプリケーションを含むことができる。分散された構成要素が使用される場合、これらは、順次的に又は並行して作動することができる。

10

【0025】

データベース16に収容される履歴パラメータ情報は、比較ガスターインの作動、補修、及び／又は保守を反映したデータを含む。履歴パラメータ情報は、具体的に、曝露データ及び損傷データと呼ばれるデータを含むことができる。曝露データは、比較ガスターインの運転履歴を記述し、故障モード又はメカニズムの予測に実質的に関連付けることができる何らかの情報を含む。例えば、曝露データは、運転時間、始動及び運転停止のサイクル数、燃焼温度、及び計画外のトリップ回数を含むことができる。損傷データは、統計的有意性によって生じた何らかのハードウェア故障メカニズムを含む。故障メカニズムは、正常値からの物理的又は機能的特性の何らかの劣化を含み、出力損失、効率損失、又は比較ガスターインの作動不能をもたらす結果となる。公知の故障メカニズムの実施例には、腐食、クリープ、変形、疲労、異物損傷、産科、熱障壁コーティング(TBC)、剥離、閉塞／汚染、破裂、及び摩耗が挙げられる。これらの故障メカニズムは、拡張ボロスコープ検査、オンライン監視、運転ログ、補修ログ、及び同様のものの結果として収集又は記録することができる。

20

【0026】

履歴情報の利用可能なソースは、例えば、運転作業、運転記録、補修検査記録、及び現場検査記録のデータベースを含む。これらのソースに含まれる履歴情報の実施例には、限定ではないが、拡張ボロスコープ検査(EBI)報告、電子記録、監視及び故障診断(M&D)データ、運転停止事象の記録、運転時間、始動、及びトリップ、並びにサービス工場もしくは補修データが含まれる。

30

【0027】

曝露及び損傷データなどの履歴情報の収集群は、統計的に解析され正規化されて、データ蓄積モデルとしても知られるフリートモデルを構築する。フリートモデルは、収集した履歴情報を用いて将来の曝露中の損傷の成長などのパラメータ情報を提案し、フリートモデル及び／又は提案されたパラメータ情報は、フリートモデル信号24を通じてプロセッサ22に伝達される。

【0028】

入力装置34は、ユーザがシステム20と通信するのを可能にし、ユーザとシステム20との間のインターフェースを提供する何らかの構造を含むことができる。例えば、入力装置34は、キーボード、コンピュータ、端末、テープドライブ、及び／又はユーザからの入力を受け取り且つシステム20に対してフリート信号28、ユニットデータ信号30、及び／又はリスク信号32を生成する他の何れかのデバイスを含むことができる。

40

【0029】

図3は、図2において上記ではブロック26で示された、フリートモデル及び／又はフリートモデル信号24を更新及び確認するアルゴリズムを示す。ブロック50において、アルゴリズムは、例えば、曝露データ52及び損傷データ54のような、比較ガスターインから新規に収集されたパラメータ情報を含むフリートデータ信号28を取り込む。単に例証の目的で、フリートデータ信号28は、運転時間10,000時間において、始動及

50

び運転停止サイクルが 20 サイクル、計画外トリップが 2 回、特定の構成要素においてボロスコープ検査で検出した亀裂サイズが 0.1、0.2、0.1、0.2、0.3、及び 0.2 インチであると仮定する。ブロック 56 において、アルゴリズムは、例えば、変数 L_n を検出した損傷の大きさに従って昇順で各検査結果に割り当てるこによって、取り込んだ曝露データ 52 及び損傷データ 54 をソートして体系化し、以下の結果を得る。すなわち、 $L_1 = 0.1$ 、 $L_2 = 0.1$ 、 $L_3 = 0.2$ 、 $L_4 = 0.2$ 、 $L_5 = 0.2$ 、及び $L_6 = 0.3$ である。ブロック 58 において、アルゴリズムは、例えば、同じ大きさを有する各検査結果に変数 R_n を割り当てるこによって、ソートした曝露データ 52 及び損傷データ 54 をグループ化し、以下の結果を得る。すなわち、 $R_1 = 2/6$ 、 $R_2 = 2/6$ 、 $R_3 = 3/6$ 、 $R_4 = 3/6$ 、 $R_5 = 3/6$ 、及び $R_6 = 1/6$ である。ブロック 60 において、アルゴリズムは、フリートモデルに基づいて提案された損傷結果などの分布パラメータ情報を含む、フリートモデル信号 24 とソートしてグループ化したデータ 52、54 を比較し、フリートモデルが統計的に正確であるかどうかを判定する。統計的正確さは、例えば、決定係数 (R^2) 値又は標準偏差 () を含む、幾つかの個々の又は組み合わされた統計的基準により求めることができる。フリートモデルが実際の損傷の統計的に正確な提案を提供することをこの比較が示している場合、ブロック 62 にて、アルゴリズムは、フリートの比較ガスタービンから新規に収集されたパラメータ情報で履歴パラメータ情報のデータベース 26 を更新し、更なる解析のため更新したフリートモデル信号 33 を提供する。更新したフリートモデルは、図 4 に示すアルゴリズムによってアクセスされたときのユニットモデルになる。フリートモデルが実際の損傷の統計的に正確な提案を提供していないことをこの比較が示している場合、アルゴリズムは、フリートモデルの提案と実際の損傷データとの間の誤差を調査する必要性を示すフラグ 66 又は他の信号を生成する。
10 20

【0030】

図 4 は、図 2 において上記ではブロック 38 と示された、ユニットモデルを更新及び確認するためのアルゴリズムを示している。ブロック 68 において、アルゴリズムは、例えば、曝露データ 70 及び損傷データ 72 のような、供用中のガスタービン 10 から新規に収集されたパラメータ情報を含むユニットデータ信号 30 を取り込む。単に例証の目的で同様に、ユニットデータ信号 30 は、運転時間 10,000 時間ににおいて、始動及び運転停止サイクルが 20 サイクル、計画外トリップが 2 回、特定の構成要素においてボロスコープ検査で検出した亀裂サイズが 0.1、0.3、0.1、0.3、0.3、及び 0.2 インチであると仮定する。ブロック 74 において、アルゴリズムは、例えば、変数 L_n を検出した損傷の大きさに従って昇順で各検査結果に割り当てるこによって、取り込んだユニットデータ 70、72 をソートして体系化し、以下の結果を得る。すなわち、 $L_1 = 0.1$ 、 $L_2 = 0.1$ 、 $L_3 = 0.2$ 、 $L_4 = 0.3$ 、 $L_5 = 0.3$ 、及び $L_6 = 0.3$ である。ブロック 76 において、アルゴリズムは、例えば、同じ大きさを有する各検査結果に変数 R_n を割り当てるこによって、ソートしたユニットデータ 70、72 をグループ化し、以下の結果を得る。すなわち、 $R_1 = 2/6$ 、 $R_2 = 2/6$ 、 $R_3 = 1/6$ 、 $R_4 = 3/6$ 、 $R_5 = 3/6$ 、及び $R_6 = 3/6$ である。ブロック 78 において、アルゴリズムは、ユニットモデルに基づいて提案された損傷結果などの分布パラメータ情報を含む、ユニットモデルとソートしてグループ化したユニットデータ 70、72 を比較し、ユニットモデルが統計的に正確であるかどうかを判定する。統計的正確さは、例えば、決定係数 (R^2) 値又は標準偏差 () を含む、幾つかの個々の又は組み合わされた統計的基準により求めることができる。ユニットモデルが実際の損傷の統計的に正確な提案を提供することをこの比較が示している場合、ブロック 80 にて、アルゴリズムは、供用中のガスタービン 10 から新規に収集されたパラメータ情報でユニットモデルを更新し、更なる解析のためユニットモデルから更新されたパラメータ情報 41 を生成する。ユニットモデルが実際の損傷の統計的に正確な提案を提供していないことをこの比較が示している場合、アルゴリズムは、提案と実際の損傷との間の誤差を調査する必要性を示すフラグ 84 又は他の信号を生成する。
30 40 50

【0031】

図5は、図2において上記ではプロック40と示された、ユニットリスク解析を実施するアルゴリズムを示している。ユニットリスク解析は、ユニットモデルからの更新パラメータ情報41をリスク信号32と組み合わせて、供用中のガスタービン10の補修44及び／又は保守46スケジュールを反映した出力信号42及び／又は有効寿命提案48を生成する。プロック86において、アルゴリズムは、例えば、ユニット曝露データ、各故障メカニズムの許容可能リスクレベル、及び／又は供用中のガスタービン10の次の検査間隔を含むリスク信号32を取り込む。プロック88において、アルゴリズムは、例えば、ユニットモデルに基づいて提案された損傷結果などの分布パラメータ情報を含む、ユニットモデルからの更新パラメータ情報41を取り込む。プロック90において、アルゴリズムは、各故障メカニズムに対応するリスク解析方程式をロードし、又はこれにアクセスする。リスク解析方程式は、当該技術分野で公知の種々の技術の何れかを利用して、既知のデータに基づく将来の条件の分布曲線をモデル化することができる。例えば、リスク解析方程式は、Weibull対数線形モデル、Weibull比例ハザードモデル、又は対数正規-対数線形モデルを用いることができる。10

【0032】

プロック92において、アルゴリズムは、リスク解析方程式を用いて各特定の故障メカニズムに関連する条件付きリスクを算出する。条件付きリスクは、ユニットパラメータが将来のある時点において所定のパラメータ限界に達するか、又はこれを超える確率である。所定のパラメータ限界は、ユーザにより設定される何らかの条件、メトリック、測定値、又は他の基準とすることができます。例えば、所定のパラメータ限界は、部品又は構成要素の亀裂サイズなどの運転限界とすることができます、これを超えた場合には、追加の検査の実施、部品又は構成要素を供用から外すこと、部品又は構成要素の補修、或いは、供用中のガスタービン10の運転能力を制限することなど、ユーザによる措置を必要とする場合がある。将来の時点とは、運転時間、始動、運転停止、計画外トリップ、又はユーザにより提供され故障メカニズムと関連付けられる他の何れかの曝露データにより時系列的に測定した供用中のガスタービン10についての次の検査間隔とすることができます。20

【0033】

プロック94において、アルゴリズムは、供用中のガスタービン10における現行条件の信頼性を算出する。算出される信頼性は、部品又は構成要素が、将来の少なくともある時点まで定格限界で指定機能を成功裏に実施できる確率である。別の表現をすると、算出信頼性は、部品又は構成要素が、将来のある時点まで識別される故障メカニズムの結果として故障しない確率である。条件付きリスク算出と同様に、将来の時点とは、運転時間、始動、運転停止、計画外トリップ、又はユーザにより提供され故障メカニズムと関連付けられる他の何れかの曝露データにより時系列的に測定した供用中のガスタービン10についての次の検査間隔とすることができます。30

【0034】

プロック96において、アルゴリズムは、部品又は構成要素の残りの有効寿命を算出し、図6は、この算出を実施するアルゴリズムを示している。プロック98及び100において、アルゴリズムは、図5においてプロック86及び88に関して検討したように、リスク信号32及び更新パラメータ情報41をそれぞれ取り込む。プロック102において、アルゴリズムは、供用中のガスタービン10の各特定の故障メカニズムに対する平均損傷値を算出する。プロック104において、アルゴリズムは、部品又は構成要素が種々の将来の曝露点（例えば、運転時間、始動、運転停止、計画外トリップ、その他）において所定の運転限界に達するか、又はこれを超える確率を算出する。プロック106において、アルゴリズムは、各故障メカニズムについてユーザにより提供される許容可能リスクレベルに基づいて最大限界曝露点を算出する。前回の実施例で与えられたデータを例証として用いて、ユーザが亀裂サイズについて5%の許容可能リスクレベルを定め、亀裂サイズの所定運転限界が0.5である場合、アルゴリズムのプロック106は、亀裂サイズ0.5が存在することになる5%の条件付きリスクであるときの曝露点を算出する。プロック40106

108において、アルゴリズムは、現在の曝露点と、ブロック106で算出された最大限界曝露点との間の差違に基づいて部品又は構成要素の残りの有効寿命を算出する。

【0035】

図5に戻ると、ユニットリスク解析アルゴリズムは、ユニットリスク解析の結果を反映した出力信号42を生成する。例えば、出力信号42は、補修44及び保守46スケジュールと、供用中のガスタービン10又はその構成要素についての有効寿命提案を含むことができる。

【0036】

図7は、本発明の1つの実施形態による、ユニットリスク解析アルゴリズムにより生成することができる仮説的損傷伝搬曲線のグラフである。横軸は、補修及び/又は保守のための運転停止間の曝露間隔（例えば、運転時間、始動、運転停止、計画外トリップ、又は故障メカニズムと関連付けられる他の何れかの曝露データ）を表し、縦軸は、供用中のガスタービン10における部品又は構成要素に対する損傷量を表す。グラフを横断する水平線は、所定のパラメータ限界110か、又はユーザが設定した部品又は構成要素の運転限界を表す。

10

【0037】

図7のグラフ上の各曲線は仮説的損傷伝搬曲線を表す。例えば、112で表記された曲線は、フリートモデルによって、損傷が検出されない部品又は構成要素が114で表記された曝露間隔の前に所定のパラメータ限界110を超えることになるリスク5%を示している。116で表記される曲線は、フリートモデルによって、損傷が検出されない部品又は構成要素が118で表記された曝露間隔の前に所定のパラメータ限界110を超えることになるリスク95%を示している。120で表記される曲線は、更新フリートモデルによって、損傷が検出されない部品又は構成要素が122で表記された曝露間隔の前に所定のパラメータ限界110を超えることになるリスク5%を示している。124で表記される曲線は、更新フリートモデルによって、損傷が検出されない部品又は構成要素が126で表記された曝露間隔の前に所定のパラメータ限界110を超えることになるリスク95%を示している。128で表記された種々のデータ点は、ユニットデータ30を通じてプロセッサ22に伝達されるユニットパラメータ情報又は損傷データ72として様々に上記で言及された、実際の検査結果を示している。再度図2に戻って参照すると、損傷データ72は、ブロック38でユニットモデルに付加され、更新パラメータ情報41を生成する。ユニットリスク解析は、更新パラメータ情報41をリスク信号32内の情報と組み合わせ、供用中のガスタービン10の実際のリスク曲線を求める。

20

【0038】

図8は、図6に関して上記で検討したアルゴリズムによって生成した仮説的有効寿命曲線を示すグラフである。この例証では、横軸は運転時間の曝露限界を表し、縦軸は始動時の曝露限界を表す。他の曝露限界は、故障メカニズム、特定の部品又は構成要素、供用中のガスタービン10の曝露データ、その他などの種々の要因に応じて適用することができる。130で表記された曲線は、特定の故障メカニズムにおける部品又は構成要素の仮説的有効寿命曲線を表す。点132は、始動及び運転時間の所与の組み合わせにおける部品又は構成要素の指定有効寿命を表す。134で表記された曲線は、図6のブロック106及び108で算出される、部品又は構成要素の新しい有効寿命曲線を表す。図示のように、新しい有効寿命曲線134は、故障メカニズムが発生するまで部品又は構成要素が過ごす始動及び運転時間数が増加したことを示している。

30

【0039】

本明細書は、最良の形態を含む実施例を用いて本発明を開示し、更に、あらゆる当業者があらゆるデバイス又はシステムを実施及び利用すること並びにあらゆる包含の方法を実施することを含む本発明を実施することを可能にする。本発明の特許保護される範囲は、請求項によって定義され、当業者であれば想起され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は、請求項の文言と差違のない構造要素を有する場合、或いは、請求項の文言と僅かな差違を有する均等な構造要素を含む場合には、本発明の範囲内にあるも

40

50

のとする。

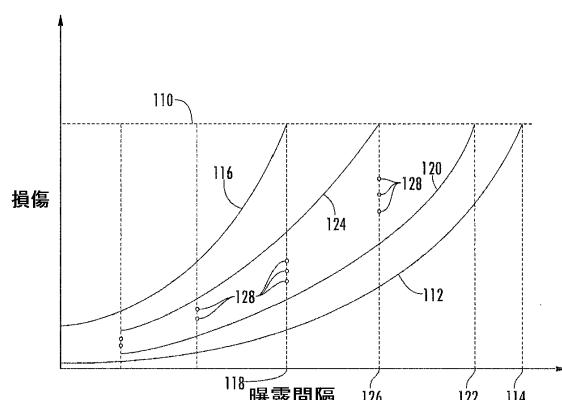
【符号の説明】

【0 0 4 0】

1 0	ガスター・ビン	
1 2	圧縮機	
1 4	燃焼器	
1 6	タービン	
1 8	燃料	
2 0	システム	10
2 2	プロセッサ	
2 4	フリートモデル信号	
2 6	データベース	
2 8	フリートデータ信号	
3 0	ユニットデータ信号	
3 2	リスク信号	
3 3	更新フリートモデル信号	
3 4	入力装置	
3 6	フリートモデル検証ブロック	
3 8	ユニットモデル基準ブロック	
4 0	ユニットリスク分析ブロック	20
4 1	ユニットモデルからのパラメータ情報	
4 2	出力信号	
4 4	補修スケジュール	
4 6	保守スケジュール	
4 8	有効寿命提案	
5 0	フリート取り込みデータブロック	
5 2	フリート曝露データ	
5 4	フリート損傷データ	
5 6	フリートソートデータブロック	
5 8	フリートグループデータブロック	30
6 0	フリート比較ブロック	
6 2	フリート更新ブロック	
6 6	フリートフラグブロック	
6 8	ユニット取り込みデータブロック	
7 0	ユニット曝露データ	
7 2	ユニット損傷データ	
7 4	ユニットソートデータブロック	
7 6	ユニットグループデータブロック	
7 8	ユニット比較ブロック	
8 0	ユニット更新ブロック	40
8 4	ユニットフラグブロック	
8 6	U R A 入力ブロック	
8 8	U R A 取り込みブロック	
9 0	U R A ロードリスク分析方程式	
9 2	U R A 条件リスク算出ブロック	
9 4	U R A 信頼性算出ブロック	
9 6	U R A 算出有効寿命ブロック	
9 8	有効寿命入力ブロック	
1 0 0	有効寿命取り込みブロック	
1 0 2	有効寿命平均損傷値ブロック	50

1 0 4 有効寿命算出故障確率 ブロック
 1 0 6 有効寿命算出故障時間 @ リスク
 1 0 8 有効寿命算出残りの有効寿命
 1 1 0 運転限界
 1 1 2 5 % フリート曲線
 1 1 4 5 % フリート限界
 1 1 6 9 5 % フリート曲線
 1 1 8 9 5 % フリート限界
 1 2 0 5 % ユニット曲線
 1 2 2 5 % ユニット限界 10
 1 2 4 9 5 % ユニット曲線
 1 2 6 9 5 % ユニット限界
 1 2 8 ユニットデータ
 1 3 0 仮説的有効寿命曲線
 1 3 2 指定寿命
 1 3 4 新しい寿命曲線

【図 7】



【図1】

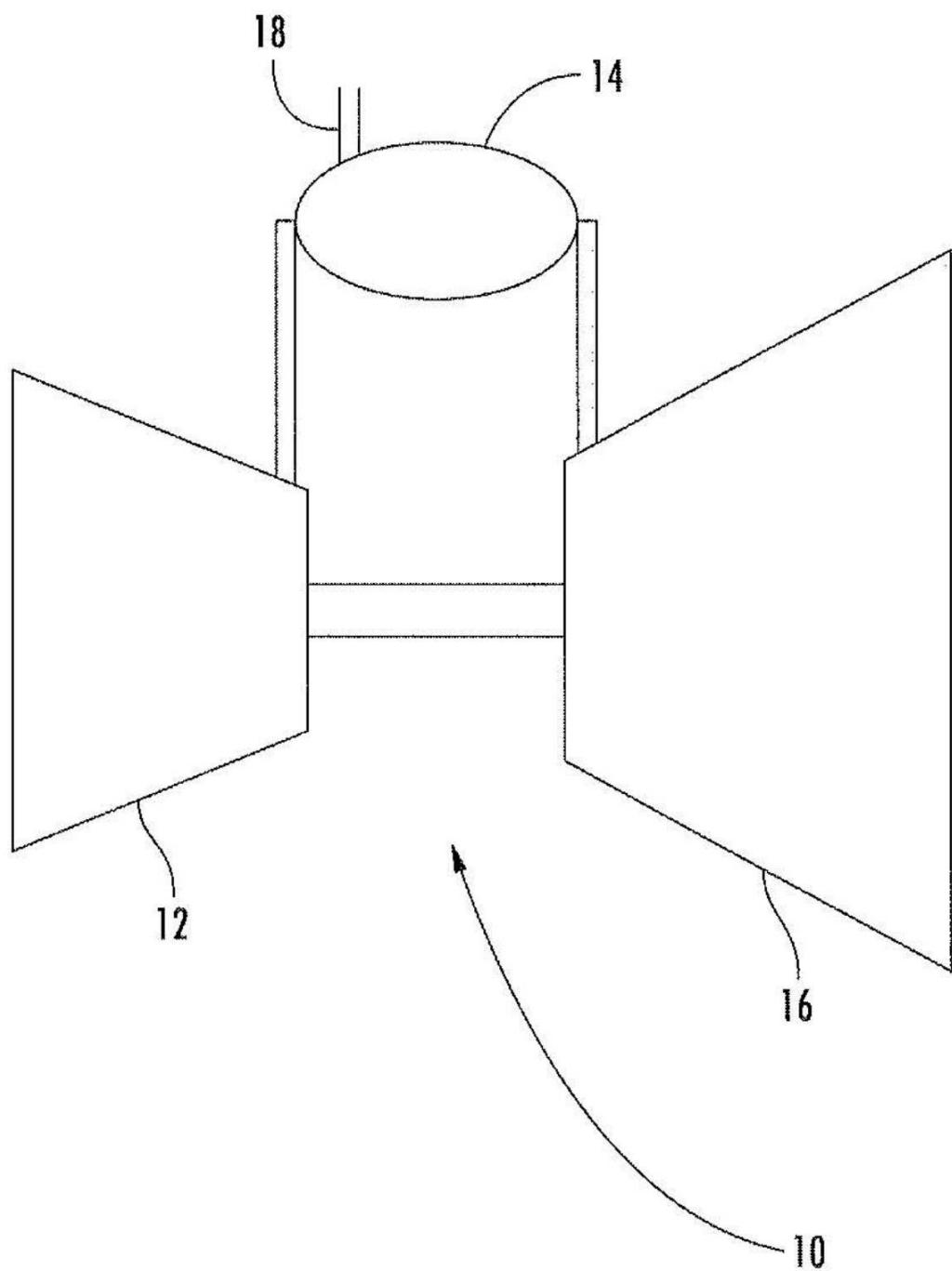


FIGURE 1

【図2】

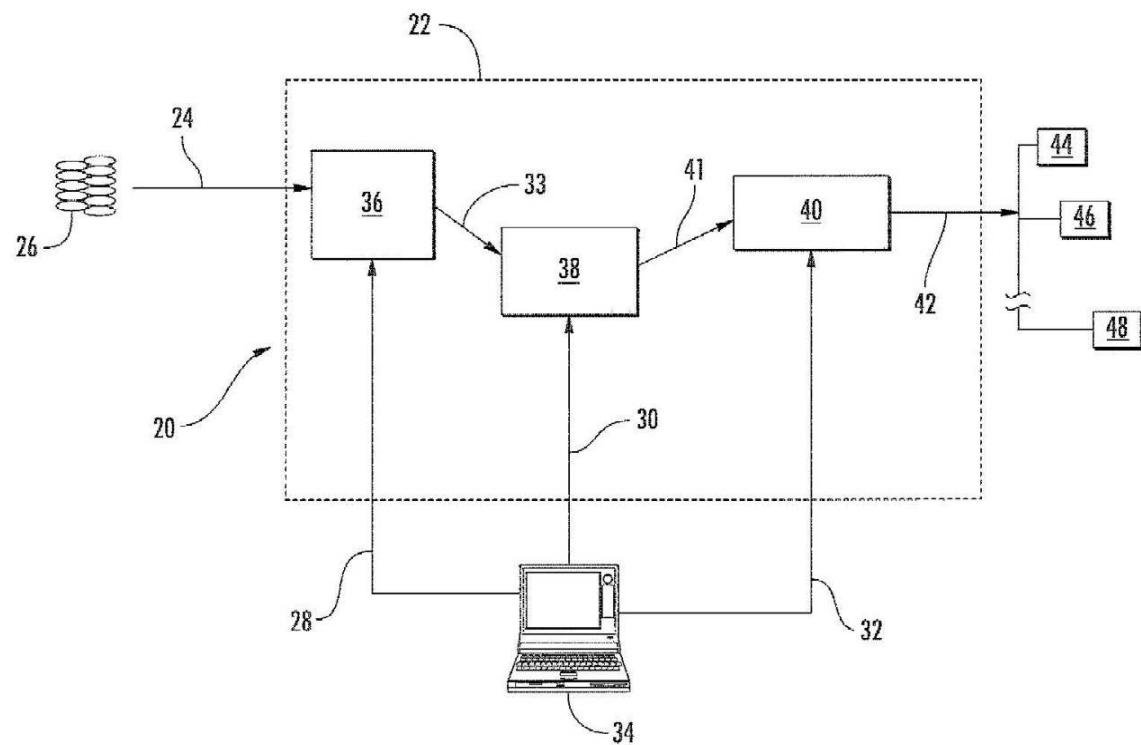


FIGURE 2

【図3】

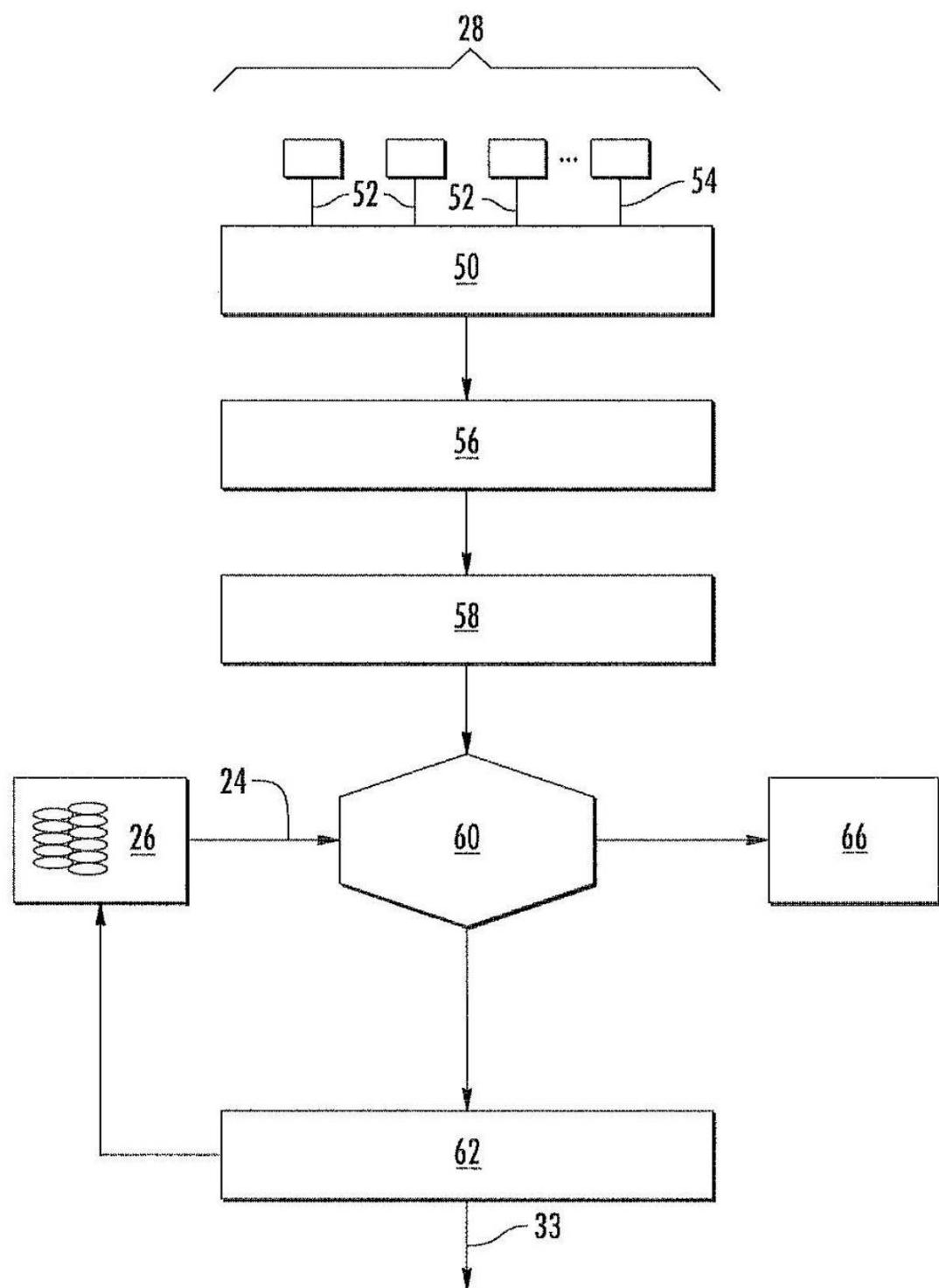


FIGURE 3

【図4】

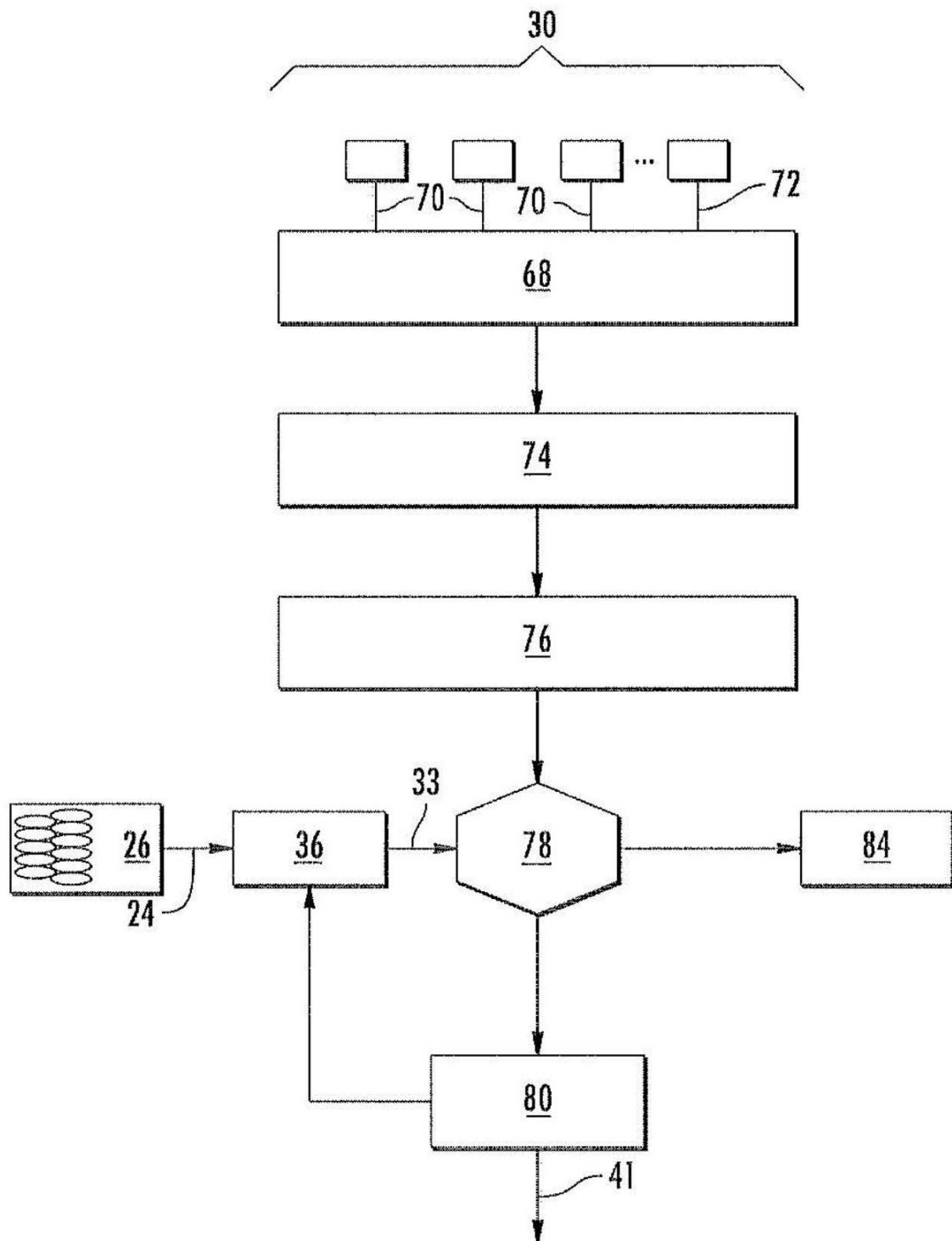


FIGURE 4

【図5】

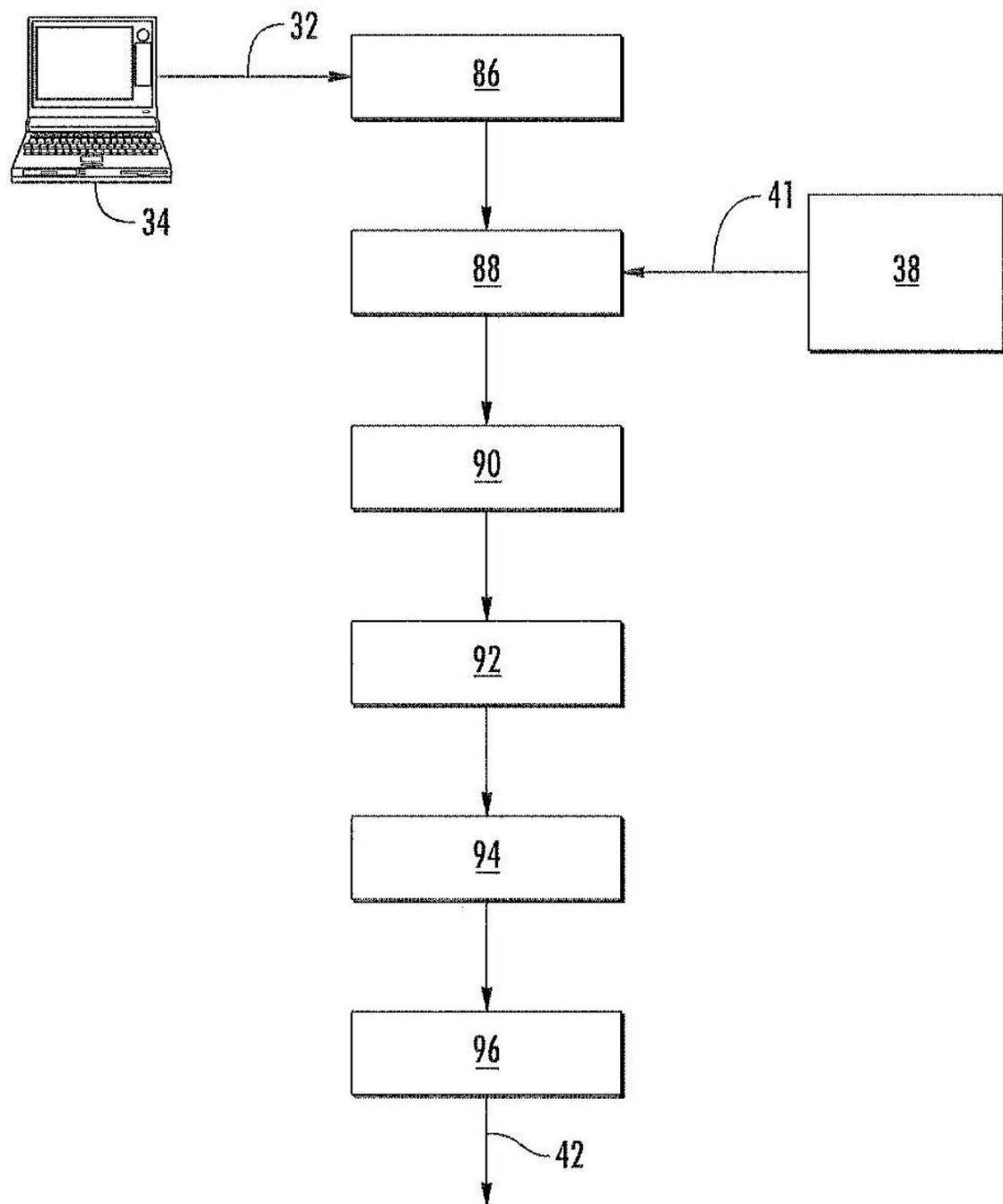


FIGURE 5

【図6】

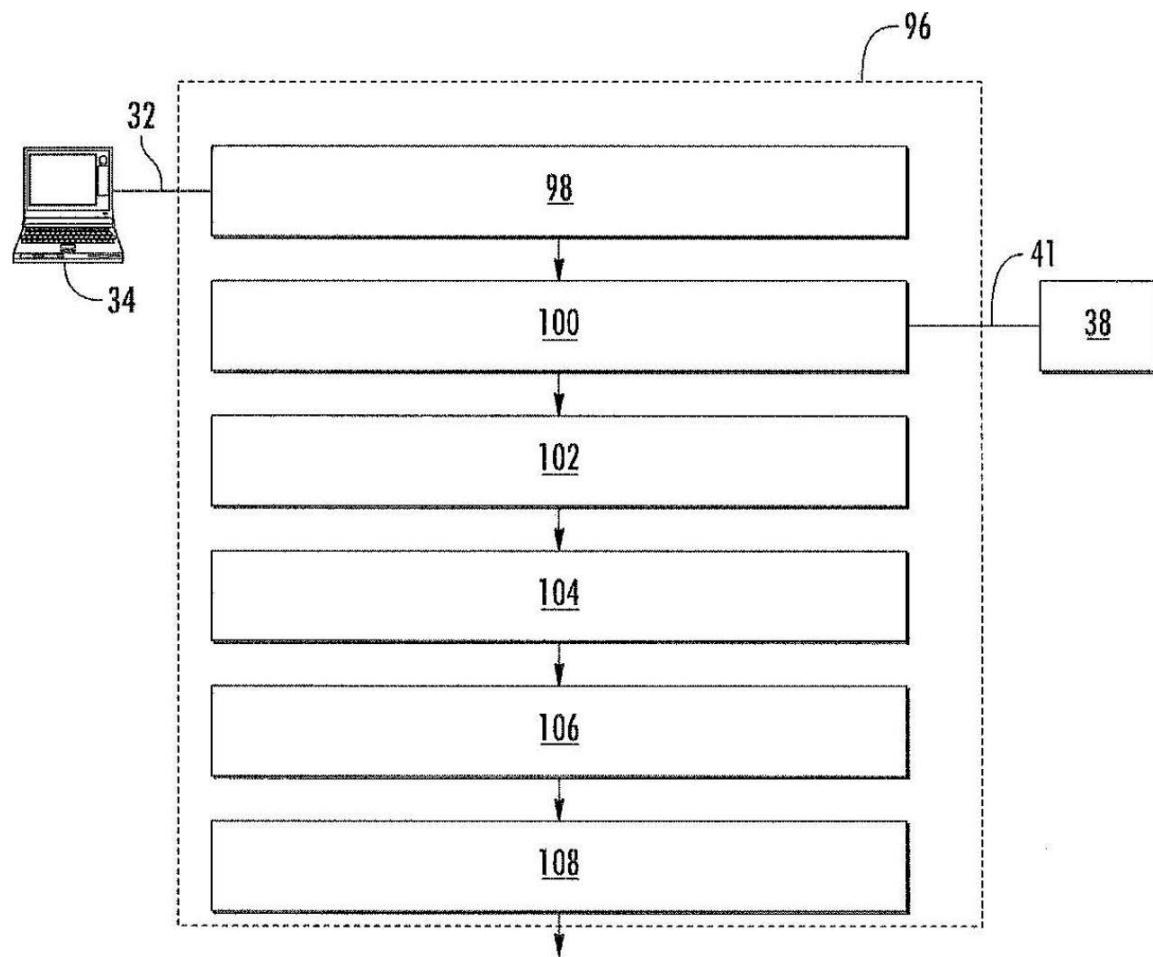
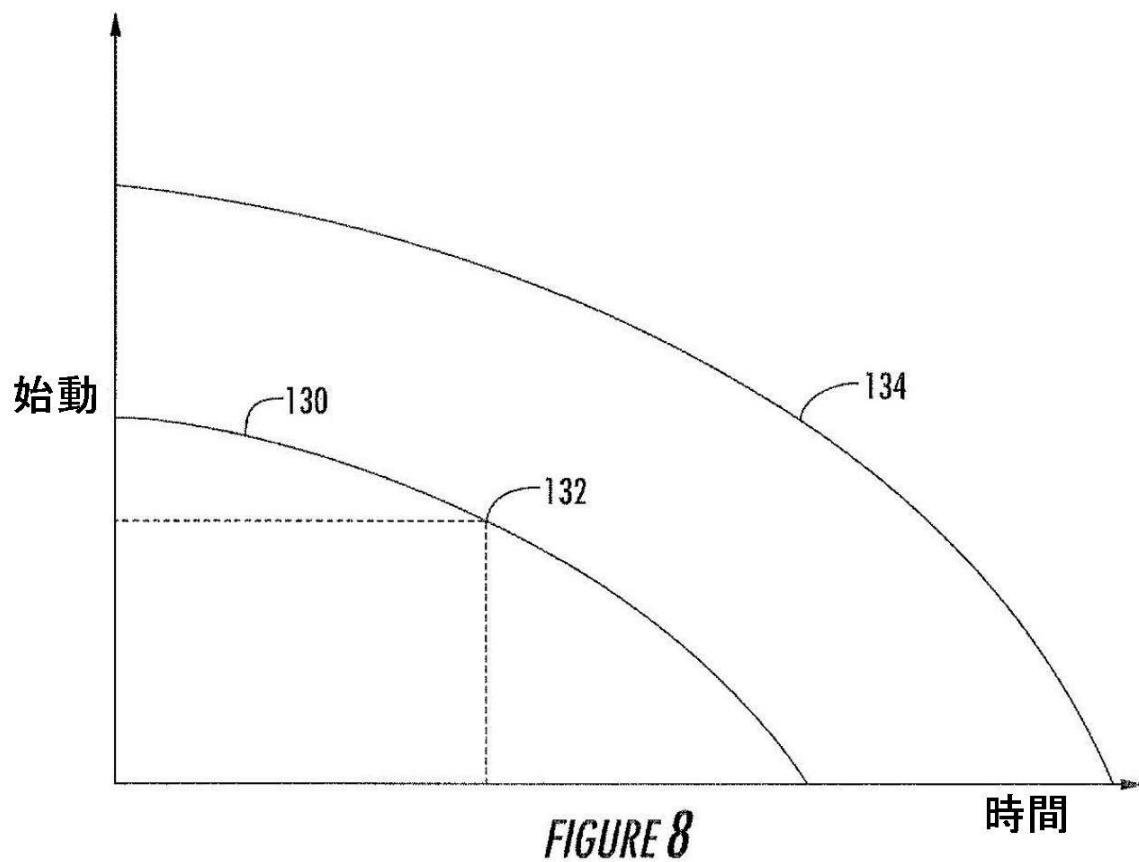


FIGURE 6

【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 マイケル・エドワード・バーナード

アメリカ合衆国、サウスカロライナ州、グリーンヴィル、ガーリントン・ロード、300番

(72)発明者 サミーア・ヴィッタル

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

審査官 佐藤 健一

(56)参考文献 米国特許第07536277(US, B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F 02 C 7 / 00

F 01 D 25 / 00

G 06 Q 10 / 04