

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2005-514602

(P2005-514602A)

(43) 公表日 平成17年5月19日(2005.5.19)

| (51) Int. Cl. ⁷ | F I | テーマコード (参考) |
|----------------------------|--------------|-------------|
| GO 1 H 17/00 | GO 1 H 17/00 | A 2 G O 6 4 |
| FO 1 D 25/00 | FO 1 D 25/00 | B 2 G O 8 7 |
| FO 2 C 7/00 | FO 2 C 7/00 | A |
| GO 1 M 15/00 | GO 1 M 15/00 | B |

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 43 頁)

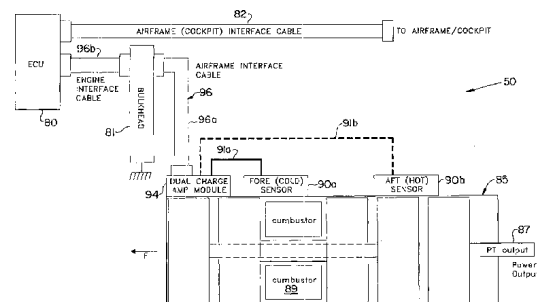
| | | | |
|---------------|---|----------|-----------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2003-556760 (P2003-556760) | (71) 出願人 | 504183399 |
| (86) (22) 出願日 | 平成14年11月15日 (2002.11.15) | | グッドリッチ・ポンプ・アンド・エンジン |
| (85) 翻訳文提出日 | 平成16年5月13日 (2004.5.13) | | ・コントロール・システムズ・インコーポ |
| (86) 国際出願番号 | PCT/US2002/036796 | | レーテッド |
| (87) 国際公開番号 | W02003/056284 | | アメリカ合衆国 コネチカット州, ウェス |
| (87) 国際公開日 | 平成15年7月10日 (2003.7.10) | | ト・ハートフォード, チャーター・オーク |
| (31) 優先権主張番号 | 60/332,892 | | ・ブルバード, ボックス 330651 |
| (32) 優先日 | 平成13年11月16日 (2001.11.16) | (74) 代理人 | 100094651 |
| (33) 優先権主張国 | 米国 (US) | | 弁理士 大川 晃 |
| (81) 指定国 | EP (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), JP | (74) 代理人 | 100123478 |
| | | | 弁理士 田邊 隆 |
| | | (72) 発明者 | マックブライアン・ゲリー・エム. |
| | | | アメリカ合衆国 コネチカット州, グラス |
| | | | トンバリー, スティーブンス・レーン, 2 |
| | | | 8 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ガス・タービン・エンジンの振動モニタリング・システム

(57) 【要約】

開示事項はガス・タービン・エンジンの振動レベルをモニタリングするシステムと方法である。振動モニタリング・システムは、診断と予知の両方に役立つ形態で、エンジン構成部材の安定度を決定するために、エンジンから振動データを得て、データを高等アルゴリズムで処理する。この方法は、作動期間中の複数の回転構成部材に関する作動パラメータとこれに対応する1組の振動振幅とを測定する工程と、設定された振幅限界を基礎にした、その組の測定された振動振幅をモニタリングする工程とを含む。その組の基準化された振幅データ・ポイントがパラメータ・ベースのデータ・ブロックに記憶される。このデータ・ブロックは、作動パラメータの予め定められた範囲に渡って延在している。各データ・ブロックに関して、設定された振幅限界に到達するまでに残されている時間期間が、データ・ブロックに記憶された基準化された複数の振幅データ・ポイントの変化に基づいて推定される。次に警報設定が確立されるが、これは、各データ・ブロックに対して設定された振幅限界に到達するまでに残っている、推定された時間期間に基



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

a) 回転構成部材に関して作動期間中に作動パラメータと、対応する 1 組の振動振幅とを計測する工程と、
b) 1 組の基準化された振動振幅データ点を規定するために、前記回転構成部材に関して設定された振幅限界に基づき前記 1 組の計測された振動振幅を規準化する工程と、ここで前記設定された振幅限界が前記構成部材の前記測定された作動パラメータの関数であり、
c) パラメータ・ベースのデータ・ブロック中に前記 1 組の基準化された振幅データ点を記憶する工程と、各データ・ブロックが前記作動パラメータの予め定められた範囲に渡り延在し、
d) 各データ・ブロックに関して、前記作動期間に渡り前記データ・ブロックに記憶された前記基準化された振幅データ点の変化に基づいて、前記設定された振幅限界に到達するまでに残された時間期間を推定する工程と、
e) 各データ・ブロックに関して前記設定された振幅限界に到達するまでの前記推定された残存時間期間に基づいて警報設定を設定する工程と、
を含み、回転構成部材に関連する振動レベルをモニタリングするとともに前記回転構成部材に関する警報設定を確立する方法。

【請求項 2】

前記構成部材の前記計測された作動パラメータが、前記対応 1 組の振動振幅を計測するに先立ち予め定められたデータ収集期間に渡り一定であることを確保する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

対応 1 組の振動振幅を計測する工程が、前記構成部材に関して計測された振動加速度を、高速フーリエ変換を用いて調整する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

少なくとも 1 つの前記計測された振幅振動が確立振幅限界を越える場合に前記警報設定に基づいて警報信号を提供する工程を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記方法が、作動期間中に前記構成部材の回転数を計測することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記方法が、前記構成部材の定格回転数の 3 % の範囲に渡り延在するパラメータ・ベースのデータ・ブロック中に前記 1 組の基準化された振幅データを記憶することを含み、前記データ・ブロックが前記定格回転数の 1 % のスペーシングを有する、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記方法が、前記構成部材の回転トルクを計測することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記方法が、前記構成部材の定格トルクの 10 % の範囲に渡り延在するパラメータ・ベースのデータ・ブロック中に前記 1 組の基準化された振幅データを記憶することを含み、前記データ・ブロックが前記定格トルクの 5 % のスペーシングを有する、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記確立された振幅限界に到達するまでの残存時間を推定するために、前記パラメータ・ベースのデータ・ブロックの各々に記憶された前記基準化された振幅データ点を補間する工程を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

a) 複数の回転構成部材の各々に関し作動パラメータを計測する工程と、
b) 複数の回転構成部材の各々に関し作動期間中に対応 1 組の振動振幅を計測する工程と

- 、
- c) 前記複数の回転構成部材からモニタリングされる回転構成部材を選択する工程と、
- d) 前記複数の構成部材において選択されない構成部材に対応する振動振幅を推定するために前記1組の振動振幅を調整するとともに、1組の残存振動振幅をつくる工程と、
- e) 1組の基準化された振幅データ点をつくるために、前記選択された構成部材の確立された振幅限界に基づき前記1組の残存振動振幅を基準化する工程と、ここで前記確立された振幅限界が、前記選択された回転構成部材の前記計測された作動パラメータの関数であり、
- f) 各構成部材の前記1組の基準化された振幅データ点を関連組のパラメータ・ベースのデータ・ブロック中に記憶する工程と、各データ・ブロックが前記計測された作動パラメータの予め定められた範囲に渡り延在し、 10
- g) 各データ・ブロックに関し、前記作動期間に渡り前記組のパラメータ・ベースのデータ・ブロックに記憶された前記基準化された振幅データ点の変化に基づいて、前記確立された振幅限界に到達するまでに残された時間期間を推定する工程と、
- h) 各データ・ブロックの前記確立された振幅限界に到達するまでに残された前期推定時間期間に基づき、前記選択された構成部材の警報設定を確立する工程と、
- を含む、複数の回転構成部材に関連する振動振幅をモニタリングするとともに各構成部材に関する警報設定を確立する方法。
- 【請求項11】
- 前記方法が、各構成部材の前記計測された作動パラメータが、対応1組の振動振幅を計測するに先立ち予め定められたデータ収集期間に渡り一定であるということを確認する、 20
- 請求項10に記載の方法。
- 【請求項12】
- 対応1組の振動振幅を計測する工程が、各構成部材の計測された振動加速度を、高速フーリエ変換を用いて調整することを含む、請求項10に記載の方法。
- 【請求項13】
- 少なくとも1つの前記計測された振動振幅が設定された振動限界を越える場合に前記警報設定に基づいて警報信号を提供する工程を含む、請求項10に記載の方法。
- 【請求項14】
- 前記方法が、作動期間中に前記構成部材の回転数を計測することを含む、請求項10に記載の方法、 30
- 【請求項15】
- 前記方法が、前記構成部材の定格回転数の3%の範囲に渡り延在するパラメータ・ベースのデータ・ブロック中に前記1組の基準化された振幅データ点を記憶することを含み、前記データ・ブロックが前記定格回転数の1%のスペーシングを有する、請求項14に記載の方法。
- 【請求項16】
- 前記方法が、前記構成部材の回転トルクを計測することを含む、請求項10に記載の方法。
- 【請求項17】 40
- 前記方法が、前記構成部材の定格トルクの10%の範囲を越えて延在するパラメータ・ベースのデータ・ブロック中に前記1組の基準化された振幅データ点を記憶することを含み、前記データ・ブロックが前記定格トルクの5%のスペーシングを有する、請求項16に記載の方法。
- 【請求項18】
- 前記確立された振幅限界に到達するまでの残存時間を推定するために、前記パラメータ・ベースのデータ・ブロックの各々に記憶された前記基準化された振幅データ点を補間する工程を含む、請求項10に記載の方法。
- 【請求項19】
- a) 複数の回転構成部材の各々の作動パラメータを計測する手段と、 50

- b) 作動期間中前記複数の回転構成部材の各々の対応 1 組の振動振幅を計測する手段と、
 c) 前記複数の回転構成部材からモニタリングされる構成部材を選択する手段と、
 d) 前記複数の構成部材の中で選択されなかった構成部材に対応する振動振幅を排除するために前記 1 組の振動振幅を調整し、且つ 1 組の残存振動振幅をつくる手段と、
 e) 1 組の基準化された振幅データ点をつくるために、前記選択された構成部材の確立された振幅限界に基づいて前記 1 組の残存振動振幅を基準化する手段と、ここで前記確立された振幅限界が前記選択された回転構成部材の前記計測された作動パラメータの関数であり、
 f) 各回転構成部材の前記 1 組の基準化された振幅データ点を関連する組のパラメータ・ベースのデータ・ブロック中に記憶する手段と、各データ・ブロックが前記計測された作動パラメータの予め定められた範囲に渡り延在し、
 g) 各データ・ブロックに関し、前記作動期間に渡り前記データ・ブロックに記憶された前記基準化された振幅データ点の変化に基づき、前記確立された振幅限界に到達するまでに残された時間期間を推定する手段と、
 h) 各データ・ブロックの前記確立された振幅限界に到達するまでに残された推定時間期間に基づいて、前記選択された構成部材の警報設定を確立する手段と、
 を備え、複数の回転構成部材に関連する振動レベルをモニタリングするとともに各回転構成部材に関する警報設定を確立するシステム。

【請求項 20】

作動期間中に複数の回転構成部材に関する 1 組の振動振幅を計測する手段が少なくとも 1 個の振動センサーを備える、請求項 19 に記載のシステム。

【請求項 21】

作動期間中に複数の回転構成部材に関する 1 組の振動振幅を計測する手段が 2 個の振動センサーを備える、請求項 20 に記載のシステム。

【請求項 22】

複数の回転構成部材の各々の作動パラメータを計測する手段が、前記複数の回転構成部材の 1 つに関する回転数を検出して信号で送る少なくとも 1 個の回転数センサーを備える、請求項 19 に記載のシステム。

【請求項 23】

対応 1 組の振動振幅を計測する手段が、各構成部材に関して計測された振動加速度を、高速フーリエ変換を用いて調整する手段を備える、請求項 19 に記載のシステム。

【請求項 24】

前記計測された振動振幅の 1 つが確立された振幅限界を越える場合に警報信号を提供する手段を備える、請求項 19 に記載のシステム。

【請求項 25】

前記計測された作動パラメータが、前記選択された構成部材の回転数である、請求項 19 に記載のシステム。

【請求項 26】

前記計測された作動パラメータが、前記選択された構成部材の回転トルクである、請求項 19 に記載のシステム。

【請求項 27】

前記選択された構成部材が、エンジン軸、ベアリング又はギアである、請求項 19 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願への相互参照

この出願は、2001 年 11 月 16 日に出願された、「ガス・タービン・エンジンの振動モニタリング・システム」と題する米国仮特許出願番号第 60 / 332, 892 号によ

る利益を享受する。この出願は全体として参照により本明細書に組み入れる。

【0002】

政府の権利の陳述

米国政府は、この発明の支払済みのライセンスと、特許権者に対して正当な条件に基づいて他者にライセンスすることを要求する、限定状況下の権利とを所有する。この条件は、米国陸軍部門により決定された、D A A H 1 0 - 9 9 - 2 - 0 0 0 5 条項に規定される。

【0003】

発明の背景

1. 発明の分野

開示主題は、航空機ガス・タービン・エンジンに使用する制御システムに関し、さらに具体的には、診断と予知の構成要素を有するリアルタイム振動モニタリング・システムを備えた制御システムに関する。

【0004】

2. 関連技術の背景

ガス・タービン・エンジンは、軸、ベアリング及びギアのような同心に取り付ける構成部材を備え、各構成部材が少し異なった既知の回転数で回転する。ジェット航空機エンジンのような重い回転構成部材を有する機械類は軸、ベアリング及び/又はギアの故障を経験することがある。さらに、これらの回転構成部材は、アンバランスになり、許容される仕様をかなりの程度を超えてベアリングとエンジン・ハウジングに負荷を負わせることがある。これらの問題は、種々の原因による結果であり、製造欠陥、設計欠陥、摩耗、使用ミス、偶発的な損傷等の原因による。飛行中の航空機の場合、これらのエンジン構成部材の故障はエンジン損失のみならず機体と乗組員の破滅的な損失に至る可能性がある。

【0005】

振動の振幅とパターンは、ジェット・エンジン副構成部材の回転により引起され、副構成部材の劣化と信頼性低下を示している可能性がある。振動検出は、作動中のエンジンのモニターに用いる極めて貴重な安全ツールであるのみならず、エンジンの計画的整備手順に組み込まれてきた。種々の技法が、エンジン副構成部材の振動の振幅とパターンを検出して解析する技術に出現した。例えば、カパディア外 (Kapadia et al) の米国特許第 4, 488, 240 号明細書はガス・タービン・エンジンの振動モニタリング・システムを開示し、このシステムはデータ処理機器で制御される非再帰的デジタル・フィルタ・ネットワークを備えている。デジタル技法が、構成部材回転数の整数倍の頻度でタコメーター信号と一般サンプリング信号とを処理するために使用される。デジタル・フィルタ・ネットワークの出力が、表示装置を動かすために使用される信号である。

【0006】

カパディア外の特許明細書に開示されるようなシステムは、例えば、出力のマイクロ・プロセッサ、多重化装置、アナログ信号調整回路、アナログ信号からデジタル信号への変換機、デジタル・フィルタ、デジタル信号からアナログ信号への変換機、及び種々のメモリ・チップのような種々のハードウェアと回路を備える。

【0007】

代表的には、振動解析システムは、エンジンに設置された一般的な振動センサーに接続される解析モジュールからなる。さらに、解析モジュールは、比較と解析のためにエンジン仕様データにアクセスする必要がある。解析モジュールは作動中に振動をモニターするために航空機内に統合的に設置される。解析モジュールは、エンジン・ハウジング内に設置されても、航空機内のいずれか別のところに置かれてもよい。解析モジュールの位置の設計で配慮すべきことは、最適サンプリングの条件とスペースの制約である。

【0008】

従来技術の振動モニタリング・システムの欠点は、これが、貯えられたエンジン仕様データに対して種々の軸、ベアリング及びギアに関して測定された振動振幅をリアルタイムで比較することができる診断の要素を含まないことである。加えて、従来技術のシステ

10

20

30

40

50

ムは、構成部材の故障までの残存時間が構成部材の測定振動レベルと記憶されたエンジン仕様データとに基づいて予知される、予知の機能を備えていない。

【 0 0 0 9 】

それ故、診断と予知の構成要素を有すると共に、複数の構成部材に関し振動振幅において測定された変化をリアルタイムで評価することができる振動モニタリング・システムを備えた管理システムに対する必要性が存在する。

【 0 0 1 0 】

発明の概要

本出願の開示は、リアルタイムの診断と予知の構成要素を備えた、ガス・タービン・エンジンに使用する振動モニタリング・システムに関する。本明細書に開示される振動モニタリング・システムは、エンジン構成部材の安定度を定めるために、診断と予知の両方の形態において、エンジンから振動データを得ると共に、高等アルゴリズムでそのデータを処理するシステムの1つの可能な機器構成を示している。本出願が属する当業者は、本明細書に開示されたシステムが回転構成部材を備えた機械類のみならず他の種類の機構にも使用することができることに即座に気付くであろう。

10

【 0 0 1 1 】

本開示は、回転構成部材に関連する振動レベルをモニターすると共にそれに対する警報設定を確立する方法に向けられている。方法は、1組の基準化された振幅データ複数点を明確に定めるために、作動パラメータと作動期間中の回転構成部材の対応する1組の振動振幅とを測定することと、回転構成部材の確立された振幅限界に基づいてその組の測定された振動振幅を基準化することと含む。設定された振幅限界は、構成部材に関して測定された作動パラメータの関数である。好ましい実施例では、測定される作動パラメータは構成部材の回転数である。代わりに、測定作動パラメータは構成部材の回転トルクである。

20

【 0 0 1 2 】

方法は、さらに、パラメータ・ベースのデータ・ブロック中にその組の基準化された振幅データ点を記憶することを含み、各データ・ブロックは作動パラメータの予め定められた範囲に渡って延在している。各データ・ブロックに関して、設定された振幅限界に至るまでに残されている時間期間が、データ・ブロックに記憶された基準化された振幅データ点における変化に基づいて評価される。各データ・ブロックに関して設定された振幅限界に至るまでに残されている時間期間に基づいて、警報設定が確立する。

30

【 0 0 1 3 】

好ましい実施例では、方法はさらに、対応する1組の振動振幅を測定するに先立ち予め定められたデータ集積期間に渡って構成部材に関し測定された作動パラメータが略一定（即ち、定常状態）であることを確保することを含む。目下、対応する1組の振動振幅を測定する工程が、構成部材に関して測定された振動加速度を、高速フーリエ変換を用いて調整することを含むことが想像される。当業者は、他の変換が時間から頻度ドメインへのデータ変換に使用できることに即座に気付くであろう。

【 0 0 1 4 】

好ましくは、本明細書に開示される方法はさらに、少なくとも1つの測定された振動振幅が設定された振幅限界を超える場合に、警報設定に基づいてオペレーターに警報信号を提供する工程を含む。

40

【 0 0 1 5 】

代表的実施例では、1組の基準化された振幅データ点が、構成部材に関し定格回転数の約3%の範囲を超えて延在するパラメータ・ベースのデータ・ブロックに記憶されるとともに、データ・ブロックは定格回転数の約1%のスペーシングを有する。さらに、1組の基準化された振幅データ点を、構成部材の定格トルクの約10%の範囲を超えて延在するパラメータ・ベースのデータ・ブロックに記憶できるとともに、データ・ブロックは定格トルクの約5%のスペーシングを有する。

【 0 0 1 6 】

50

好ましくは、各パラメーター・ベースのデータ・ブロックに記憶された基準化された 1 組の振幅データ点は、設定された振幅限界に至るまでに残された時間を推定するように組み入れられる。

【0017】

本開示は、また、複数の回転構成部材に関連する振動振幅をモニターするとともに各構成部材に警報設定を確立する方法に向けられる。方法は、作動期間中の作動パラメーターと複数の回転構成部材の各々に関して対応する 1 組の振動振幅とを測定することを含む。モニターされる回転構成部材は複数の回転構成部材から選択されるとともに、対応する 1 組の振動振幅は、複数の構成部材の中で選択されなかった構成部材に関連した振動振幅を排除するように調整されて、1 組の残りの振動振幅をつくる。

10

【0018】

1 組の残りの振動振幅が、1 組の基準化振幅データ点をつくるように、選択された構成部材に関して設定された振幅限界に基づいて基準化される。設定された振幅限界は選択された回転構成部材に関して測定された作動パラメーターの関数である。各構成部材に関する 1 組の基準化振幅データ点が関連組のパラメーター・ベースのデータ・ブロック中に貯えられ、各データ・ブロックは予め定められた範囲の測定された作動パラメーターに渡り延在している。

【0019】

さらに、方法は、各データ・ブロックに関し、作動期間に渡り複数組のパラメーター・ベースのデータ・ブロックに記憶された基準化された振幅データ点における変化に基づいて、設定された振幅限界に至るまでに残された時間期間を推定する工程を含む。選択された構成部材に関する警報設定は、次に、各データ・ブロックに関し設定された振幅限界に至るまでに残された、推定された時間期間に基づいて確立される。方法は、警報設定が下記構成部材に確立されるまで、複数の構成部材の各々に関し繰り返される。

20

【0020】

本開示は、また、複数の回転構成部材に関連する振動レベルをモニターするとともに各構成部材に警報設定を確立するシステムに向けられる。システムは作動期間中の複数の回転構成部材の各々に関して作動パラメーターと、対応する組の振動振幅とを測定する機構を含む。システムはさらに、複数の構成部材における選択されない構成部材に対応する振動振幅を排除することにより 1 組の残りの振動振幅をつくるように、複数の回転構成部材からモニターされる構成部材と 1 組の振動振幅を調整する装置とを選択する機構を含む。選択される構成部材は、例えば、エンジンの軸、ベアリング、またはギアである可能性がある。

30

【0021】

さらに、なお、システムは、1 組の基準化されたデータ点をつくるために、選択された構成部材に関し設定された振幅限界に基づいて 1 組の残りの振動振幅を基準化する機構を含む。設定された振幅限界は、選択された回転構成部材に関して測定された作動パラメーターの関数である。

【0022】

代表的な実施例では、回転構成部材に関する、1 組の基準化された振幅データ点を関連複数組のパラメーター・ベースのデータ・ブロック中に記憶する機構が含まれる。さらに、システムは、作動期間に渡りデータ・ブロックに記憶された基準化された振幅データ点における変化に基づいて、各データ・ブロックに関して、設定された振幅限界に至るまでに残された時間期間を推定する装置と、各データ・ブロックに関し確立された振幅限界に至るまでに残された推定時間期間に基づいて、選択された構成部材に関して警報設定を確立する機構とを含む。

40

【0023】

好ましい実施例では、作動期間中の複数の回転構成部材に関する 1 組の振動振幅を測定する機構は少なくとも 1 つの振動センサーを含む。代表的実施例では、少なくとも 1 つのセンサーが、複数の回転構成部材の 1 つに関する回転数を検出して信号で送る回転数センサ

50

ーである。

【 0 0 2 4 】

1つの対応する組の振動振幅を測定する機構は、高速フーリエ変換を用いて各構成部材の測定された振動加速度を調整する手段を備えることができると想像される。

【 0 0 2 5 】

好ましくは、測定された作動パラメータは選択された構成部材の回転数である。あるいは、測定された作動パラメータは選択された構成部材の回転トルクであり得る。

【 0 0 2 6 】

代表的なシステムでは、小さな加速度計が、振動のレベルまたは振幅を検知するために使用されるとともに、このセンサーの性能特性が、インターフェース・フィルタリング及びエレクトロニクスと共生的な形態で作動するように具体的に規定され選択される。さらに、特定の信号処理又はフィルタリング/調整が、加速度計の性能を調和させるために設計される。この処理は、従来からのフィルタリングとともに同様のセンサーにより通常行われる範囲を超えて加速度計の回転数範囲を拡張する。フィルターの特別な組み合わせが、帯域幅の劣化を伴わずに抗エイリアシング (aliasing) ・フィルター処理を提供するために使用される。

【 0 0 2 7 】

本明細書に開示される方法とシステムでは、振幅の傾向推移が、増幅する振動レベルを特定の振動数と特定の作動条件で追跡するために使用される。警戒と警報のレベルが、操縦者に問題又は差し迫っている問題について通報するときの限界値を提供するために使用される。振動振幅は、振動振幅を警報レベルで除することにより基準化され、その結果得られるデータが、回転数と作動条件との関数として特定の記録に記憶される。さらに、個別の回転構成部材で目標とされる診断と予知を展開するときを使用するための関連波形を特別に抽出できるように、回転数と同期して振動振幅を記録する方法が採用される。

【 0 0 2 8 】

高振動数構造共鳴から故障又は摩耗に関連するベアリング音調を抽出するために、特別の技法が使用される。高振動数は復調されて低振動数に変換され、ここでは基本的振動数が取除かれる。残った音調 (残存部) が次に、増幅する振幅の信号、摩耗の徴候に関して吟味される。

【 0 0 2 9 】

好ましい実施例の詳細な記述

以下の本明細書に記述される振動モニタリング・システムは回転翼航空機エンジン・プラットフォームにおける用途に適合しているけれども、このシステムの発明的技術は海洋プラットフォーム (例えば、小型船又は大型船)、陸上プラットフォーム (例えば、自動車又は軌道走行乗物)、又は固定翼航空機プラットフォームに適用することができる。さらに、本明細書に開示される振動モニタリング・システムは、本明細書に開示される発明的本質から逸脱することなく、エンジン以外の機械類に適用することができる。

【 0 0 3 0 】

ここで図面を参照すると、図 1 に、2つの代表的航空機振動モニタリング・システム構成、完全確信デジタル・エンジン制御 (Full Authority Digital Engine Control) (F A D E C) ベース・システムと安定及び使用管理 (Health and Usage Management) (H U M S) ベース・システムが示されており、これらのシステムは共通してそれぞれに参照番号 50 及び 150 として示されている。

【 0 0 3 1 】

F A D E C システムは、通常エンジン始動から最大の出力又はスラストまで全性能範囲にわたりエンジンの作動を制御する。F A D E C システムは一般的に、電子的制御装置 (E C U) 80、燃料計量装置 (即ち、流体力学的制御システム)、センサー、アクチュエーター、バルブ、オルタネーター、及び相互接続電機ハーネスからなる。航空機 H U M S は、航空機の主要なアセンブリの各々の作動、調整及び使用に関する情報を自動的に記録し、解析し、通信し、且つ記憶する。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 2 】

図 1 に示すように、F A D E C ベース振動モニタリング・システム 5 0 と H U M S ベース振動モニタリング・システム 1 5 0 は実質的に類似である。各システムは、他の構成要素の中に、航空機中央コンピュータ 6 0、航空機 H U M S 7 0、エンジン E C U 8 0、エンジン 8 5、2 つの加速度計 9 0 a と 9 0 b、エンジン振動モニタリング盤 9 2 及び 1 つのデュアル・チャージ変換機又は調整ボックス 9 4 を備える。システム構成は、エンジン振動モニタリング盤 9 2 の構成要素と配置の間で主として相互関係において異なる。

【 0 0 3 3 】

F A D E C ベース・システム 5 0 では、E C U 8 0 はデータ母線 8 2 を通して航空機中央コンピュータ 6 0 とコミュニケーションする。代表的には、E C U は航空機中央コンピュータへエンジンの電子的構成要素の状態と種々のエンジン・センサーから得られたデータとのような情報を提供する。航空機中央コンピュータ 6 0 は、航空機の操縦面と動力設備の総括制御に責任がある。加えて、F A D E C ベース・システムでは、加速度計 9 0 a と 9 0 b 及び調整ボックス 9 4 からのデータ信号が、E C U 8 0 内に設置されるエンジン振動モニタリング盤 9 2 へアナログ・ハーネス 9 6 により直接的に提供される。

10

【 0 0 3 4 】

H U M S ベース・システム 1 5 0 では、E C U 8 0 は、航空機中央コンピュータ 6 0 とは直接的にコミュニケーションしないが、データ母線 1 8 2 を通して航空機 H U M S とデータを交換する。加速度計 9 0 a と 9 0 b 及び調整ボックス 9 4 からのデータは、F A D E C ベース・システムとは対照的に航空機 H U M S 7 0 とともに置かれている、エンジン振動モニタリング盤 9 2 へアナログ・ハーネス 1 9 6 を通して直接的に提供される。さらに、F A D E C ベース・システムと異なり、H U M S ベース・システム 1 5 0 は、測定されたガス・ジェネレータ回転数 (N H) を調整ボックス 9 4 に表す信号を提供する専用 N H センサー 1 9 8 を必要とする。

20

【 0 0 3 5 】

システム構成の観点から、エンジン振動モニタリング盤の位置は重要ではないことに注目すべきである。エンジン振動モニタリング盤を E C U 8 0 に設置することは、E C U 8 0 と H U M S 7 0 のエンジン 8 5 への相対的位置によって付加的回転数ピックアップ (即ち、N H センサー) が必要とされなく、且つ短いアナログ・ハーネスが可能であるという点で有利である。加えて、振動モニタリング・システムに関する帯域幅とメモリの必要性によつては、振動モニタリング・システムに関する専用の高速処理機と盤が必要とされないことがある。

30

【 0 0 3 6 】

図 2 a は、エンジン振動モニタリング、エンジンの E C U 内の診断と予知を実施するための電子的ハードウェア・インターフェース線図である。デジタル信号処理盤 (D B S) 又は振動モニタリング盤 (V M B) は、他の E C U 処理とは独立して、スタンド・アローン回路盤として存在する。スタンド・アローン V M B は、振動モニタリング・システム内の故障がエンジン制御の残りの部分に影響を与えないであろうということによって有利である。さらに、V M B と E C U 間の相互接続が限定されるであろう。その結果として、ラインが分離可能になり故障の拡大又は故障による影響が防止され、且つ V M B ソフトウェアが、迅速でより効率的なソフトウェア増進の可能性へと展開することが可能になる。それぞれ 5 0 と 1 5 0 の F A D E C ベースと H U M S ベースの振動モニタリング・システムの両方において、加速度計 9 0 a と 9 0 b はエンジン 8 5 に機械的に接続される。加速度計 9 0 a と 9 0 b は、取り付け位置で検知された振動を表すアナログ・ハーネス 9 6 / 1 9 6 を通してアナログ信号を提供する。

40

【 0 0 3 7 】

当業者は、加速度計の数と位置、エンジン振動モニタリング盤の位置、及び構成部材間の相互コミュニケーションのような特徴が代表的であるのみであり、本開示の範囲を限定しようとするものではないことに容易に気付くであろう。

【 0 0 3 8 】

50

図 2 b は F A D E C ベース・振動モニタリング・システム 5 0 の簡略化された正面図を提供する。図 1 に関して記述したように、E C U 8 0 は航空機中央コンピュータ（示されない）とデータ母線 8 2 を通してコミュニケーションする。さらに、加速度計 9 0 a と 9 0 b 及び調整ボックス 9 4 からのデータは、E C U 8 0 内に位置するエンジン振動モニタリング盤へアナログ・ハーネス 9 6 により直接的に提供される。アナログ・ハーネス 9 6 は、スタッフィング管により機体隔壁 8 1 で接続される機体インターフェース・ケーブル 9 6 a とエンジン・インターフェース 9 6 b を含む。

【 0 0 3 9 】

エンジン 8 5 の前端部が矢印「F」で示されている。本明細書に開示される代表的実施例では、調整ボックス 9 4 はエンジンの前端部に設置される。前部加速度計（冷）9 0 a は、相対的に冷環境（260 ~ 316 （500 ~ 600 °F））の燃焼器 8 9 の上部に取り付けられ、統合冷温度ライン 9 1 a を通って調整ボックス 9 4 とコミュニケーションする。後部加速度計（熱）9 0 b は、高温環境（約 650 （1200 °F））の出力タービン出力 8 7 の前部に取り付けられ、統合高温度ライン 9 1 b を通って調整ボックス 9 4 とコミュニケーションする。高温度ライン 9 1 b は、例えば鉚物仕上げステンレス・スチールであることができる。

【 0 0 4 0 】

加速度計 9 0 b が設置される極端な高温環境のために、検出部、ハウジング、及び電気ケーブルの材料選択について厳しい制約が存在する。検出部は、例えば、非外来の天然水晶でなければならない。そのような環境に適する代表的装置は、バイプロメーター（

Vibro-meter）S A により提供される。このセンサーは、45 kHz の機械的共鳴を有し、650 （1200 °F）以上の温度に耐えるようにつくられている。しかしながら、バイプロメーター・センサーは 1 p C / g の出力感度を有するに過ぎない。低出力感度のため、調整ボックス 9 4 は好ましくは加速度計 9 0 b に比較的接近して設置して電気ケーブルの迷容量の影響を最小にすべきである。それ故、専用調整ボックス 9 4 が加速度計 9 0 b に極めて近接してエンジン・ハウジングに取り付けられる。

【 0 0 4 1 】

統合高温度ライン 9 1 b は、好ましくは、耐火ワイヤと熱電対接続部に使用される鉚物絶縁ケーブルである。そのようなケーブルは、物理的に剛直で均質であり、加速度計からの p C 信号の伝達に必要である、高インピーダンスで低ノイズの接続媒体を提供する。

【 0 0 4 2 】

調整ボックス 9 4 は、冷と熱の両加速度計 9 0 a と 9 0 b の信号を調整し、システムをケーブル・キャパシタンスへより少なく敏感にする。ケーブル・キャパシタンスは両加速度計にとって重要であるが、特に、上述のように 1 p C / g の出力を有するに過ぎない熱加速度計にとって重要である。電圧信号は、次に、調整ボックス 9 4 を使用する場合に必要とされるであろう特別な適応なしに、E C U 8 0 に流すことができる。

【 0 0 4 3 】

ここで図 3 を参照すると、図 3 は、参照番号 2 0 0 として共通して示される代表的エンジン軸振動モニタリング・トレンドング（V M T）・システムを模式的に示す機能ブロック線図を提供する。エンジン軸 V M T システム 2 0 0 は、データ獲得構成要素 2 2 0、獲得したデータを警戒と警報のレベルに対し比較するための振幅比構成要素 2 4 0、及びデータ記憶セグメント 2 6 0 を備える。軸 V M T システムはさらに、記録した振動レベルの変化を追跡する振幅トレンド部 2 8 0、及び警報設定構成要素 2 9 0 を備える。エンジン軸 V M T システム 2 0 0 は、エンジンに取り付けた加速度計の使用によって、高圧タービン（H P T）スプール又は軸、低圧タービン（L P T）軸及び出力タービン（P T）軸の振動レベルを計測する。期間中に計測された振幅レベルの変化に基づいて、エンジン軸 V M T 2 0 0 は、警報設定（即ち、最大許容振動レベル）にいたるまでに残された時間を予告する。

【 0 0 4 4 】

作動中、エンジン軸 V M T システム 2 0 0 のデータ獲得構成要素 2 2 0 は、高圧タービ

10

20

30

40

50

ン軸回転数（NH）、低圧タービン軸回転数（LH）、出力タービン軸回転数（NP）及びエンジン軸トルク（QS）を示す、主エンジン制御から（例えば、図1のFADECベース・システム50のECU80）の信号を受け取る。各回転数とトルクの信号の10個の試料が、加速度計データが取得されてメモリ222に記憶されるに先立つとともに直後に、採択される。以下の本明細書に記述されるように、加速度計データは、エンジンが定常状態に到達したと決定されるときに捕捉されるだけである。10個の回転数とトルクのデータ試料が次に、データの範囲、率及び統計面の検査を通していかなる異常値をも排除する妥当性確認回路228に提供される。妥当性を確認されたデータは、変換機230からの出力として提供されるNH、NL、NP、QSの各平均を計算するために使用される。

10

【0045】

エンジンが定常状態に到達したかどうかを決定するために、ガス・ジェネレータ回転数（NDOT）、出力タービン入口ガス温度（ $T_{4.5}$ ）、エンジン出力エクスカッション、NDOTwin、及び時間（t）の変化の率を示す信号が通常状態検出器224に提供される。NDOTwinは、加速、減速、トルク及び温度に関連するエンジン作動限界に基づいている。2001年9月26日に出願された、「エンジン制御システム」と題する米国特許出願第09/963,180号明細書はNDOTwinを決定する方法のより詳細な開示を提供している。この開示事項は参照により本明細書に取り込んでいる。

【0046】

エンジンが、定常状態に至るに先立ち出力エクスカッションの大きさに基づいて好ましくは1～10秒の間で定常状態で作動しようとしている場合、加速度計90a（図2参照）調整ボックス94を通してメモリ・ブロック226へ提供される信号を捕捉する。信号の65ミリ秒スナップショットが125kHz率で採取される。65ミリ秒信号スナップショットは、各々1024データ点を含む各データの8ブロック中に分離される（125,000サイクル/秒*（0.065秒/8ブロック）1024サイクル又はデータ点）。妥当性確認回路232は次に、高速フーリエ・変換（FFT）処理機234にデータを提供する前に、8ブロックの1024点からいかなる誤りデータ点をも排除する。FFT処理機234は、8データ・ブロックを回転数ドメインに変換するとともに、HPT、LPT、及びPTに対応する回転数を含む回転数帯域幅に渡り振動振幅の尺度を提供する出力モデル236に帰着する。

20

30

【0047】

変換機230から出力として提供されるNH、NL、NP、及びQSの平均値データを用いて、HPT、LPT、及びPTに関する軸オーダー・ワン振幅が回路238でモデル236から抽出される。図3に A_{HPT} 、 A_{LPT} 、及び A_{PT} として表示されるこれらの振幅を示す信号は、エンジン軸VMT200の振幅比構成要素240に提供される。エンジン軸VMT200の振幅比構成要素240は、論理ゲート245、246、及び247で、HPT、LPT、及びPTに関する振幅信号をエンジン軸モデル242、243、244a及び244bによって各々に対して設定された警戒と警告のレベルに対して比較する。エンジン軸モデルは、特定のエンジン設計に通常特有であり、エンジン製造業者により実験と経験を通して開発される。工場を離れる各エンジンは、エンジンの構造的伝達率における変動によって加速度計取り付け位置で著しく異なる振動振幅を発揮する。それ故、警戒と警告のレベルは、誤警告を排除するために各エンジンに特有である必要がある。エンジン受入れ試験で、振動レベルはECUによって記録することができ、警戒と警告のレベルがそれに応じて調整され、エンジン作動ライフ期間中にエンジンと共に存在するように不揮発性メモリに記憶される。警告又は警戒レベルに到達した又は越えた場合、適切なレベルを表す信号が主航空機コンピュータに提供される。

40

【0048】

振幅比構成要素240はまた、振幅信号 A_{HPT} 、 A_{LPT} 及び A_{PT} を設定された警告レベルで除することによりこれらの信号を基準化する。得られた基準化信号 A_{HPT} 、 A_{LPT} 及び A_{PT} に、時計265を用いて時間の標識をつけ、エンジン軸VMTシステム200のデータ

50

記憶セグメント 260 に提供する。

【0049】

データ記憶セグメント 260 は、連続的に集積されたデータを即座に回転数帯域中に記憶する機能を有する。振幅データを基準化することにより、即ち、任意の与えられた点のデータのその点に対する警報レベルに対する比を取ることににより、隣接管理体制「ウィンドウズ (windows)」又は帯域に記憶可能である示度読み取り値がつくられる。単独データ点が 3 つの重複回転数ウィンドウズと同様に多数で記憶される。重複ウィンドウズの目的は、より少ない数の大きなウィンドウズを有することにより獲得される分解度を失うことなく、1 つのウィンドウにより多くのデータを集積する機会を提供することである。本明細書に開示される代表的実施例では、トルク・ウィンドウズは 5 % の間隔を置いて配置され、回転数ウィンドウズは 1 % の間隔を置いて配置される。トルク・ウィンドウの幅は定格トルクの 10 % であり、各回転数ウィンドウの幅は定格回転数の 3 % である。結果として、各回転数振幅データ点は 3 つの隣接するウィンドウズ中に配置され、各トルク振幅データ点は少なくとも 2 つの、多分 3 つの隣接ウィンドウズ中に配置される。

10

【0050】

本明細書に開示される実施例では、トルク帯域 262 は 0 から 130 % Q S の範囲の 25 の帯域に分離される。NP 回転数帯域 264 は 2 つの帯域、静ロータ帯域と正規ロータ帯域を有する。ロータ帯域によって、 $A_{PTratio}$ データが、2 つの重複不揮発性メモリ・リング・バッファの 1 つ、又はデータ・メモリ・セル 270 a 又は 270 b に記憶される。静ロータ条件が存在するとき、採取されたデータはデータ・メモリ・セル 270 b に記憶される。

20

【0051】

回転数帯域 266 と 268 は、それぞれ、0 から 112 % NL と NH の範囲の 50 ウィンドウズに分離される。各ウィンドウの $A_{NLratio}$ と $A_{NHratio}$ データはデータ・メモリ・セル 272 と 274 に記憶される。メモリ・セル 270 a、270 b、272 及び 274 からの、時間標識をつけられ記憶されたデータはエンジン軸 VMT システム 200 の振幅トレンドング部 280 に提供される。各アップデート化した Q S (静ローター (quiet rotor))、Q S (正規ローター (normal rotor))、NL 帯域及び NH 帯域に関するデータの図式表示が、それぞれ、性能マップ 282、284、286 及び 288 に提供される。振幅トレンドング部 280 は、回転数とトルクの帯域の各々のデータに対して多項曲線適合を行うとともに、曲線の傾斜を計算する。曲線の傾斜の外挿に基づいて、曲線と警報レベルの各回転数又はトルクの帯域に対する交点が決定する。交点の位置に基づいて、回転数又はトルクの帯域の各々に関して警報状態に至るまでに残っている時間が概算される。

30

【0052】

各帯域に関して警報状態に至るまでに残っている時間は、警報設定構成要素 290 に提供され、不揮発性メモリに記憶される。各帯域に関して、警報設定が、エンジン時計 265 と警報状態に至るまでに残っている予知時間とに基づいて決定される。LP 軸、HP 軸、及び PT 軸に関する警報設定の最低値が、次に、警報設定構成要素 290 からの出力として提供される。

40

【0053】

ここで図 4 を参照すると、図 4 は、参照番号 300 として共通して示される代表的エンジン・ギア振動モニタリング及びトレンドング (VMT) ・システムに関する機能ブロック線図を提供する。ギア VMT システム 300 は、獲得したデータと、選択したギアに関する最低警報設定を確立するトレンドング及び警報セグメント 380 とから残留スペクトル応答を発現するために、データ獲得及び記憶構成要素 320、データ変換構成要素 340 を備える。エンジン・ギア VMT システム 300 は、エンジンに取り付けた加速度計の使用によって、いくつかのエンジン・ギアの振動レベルを計測するとともに、振動レベルの変化に基づいて、警報設定に至るまでに残っている時間を予報する。ギアの代表的リストは以下を含む。

50

【 0 0 5 4 】

- ・ # 1 及び # 2 タワー・ギア－
- ・ # 1 ~ # 3 アイドラ - ・ギア－
- ・ # 1 燃料ポンプ駆動ギア－
- ・ # 1 始動 / ジェネレータ駆動ギア－
- ・ # 1 及び # 2 オイル・ポンプ駆動ギア－
- ・ 燃料ポンプ・ベーン・ステージ・ギア－

エンジン・ギア－振動データはエンジン軸 V M T システム 2 0 0 に関して記述されたことと同様に獲得される。作動中に、エンジン・ギア－ V M T システム 3 0 0 のデータ獲得構成要素 3 2 0 は主エンジン制御から高圧タービン軸回転数 (NH_{main}) 信号を受け取る。4 0 個の回転数信号試料が採取される一方、加速度計データがランダム・アクセス・メモリ 3 2 2 に捕捉され、記憶される。以下の本明細書に記述されるように、加速度計と回転数のデータは、エンジンが定常状態に到達したときに採取されるに過ぎない。4 0 個の回転数試料は次に、範囲、率及び統計面の検査のような種々の手段によりいかなる異常読み値またはデータをも排除する妥当性確認回路 3 2 8 に提供される。妥当性確認を受けたデータが、変換機 3 3 0 からの出力として提供される平均 NH を計算するために使用される。 NH 軸は付属のギア－・ボックスを駆動する、それ故、軸回転数がギア－期間 (T) とパッシング周期 (f_{pass}) の決定に必須であることが分かる。

【 0 0 5 5 】

エンジンが定常状態に到達したか否かを決定するために、データ獲得構成要素 3 2 0 は、ガス・ジェネレータ回転数 ($NDOT$)、出力タービン入口ガス温度 ($T_{4.5}$)、エンジン出力エクスカージョン、 $NDOT_{win}$ 、及び時間の変化率を示す信号を、定常状態検出器 3 2 4 中に、受け取る。 $NDOT_{win}$ は、加速、減速、トルク及び温度に関連するエンジン作動限界に基づいている。

【 0 0 5 6 】

定常状態検出器 3 2 4 が、定常状態に到達するに先立ち出力エクスカージョンの大きさによって、好ましくは 1 ~ 1 0 秒の間に、エンジンが定常状態になったことを決定する場合、加速度計 9 0 a (図 1 参照) は調整ボックス 9 4 を通してメモリ・ブロック 3 2 6 へ信号を提供する。さらに、高圧タービンの未加工正弦回転数波形 (NH_{raw}) が検知され、回路 3 2 7 に提供される。加速度計信号と NH_{raw} の 4 秒スナップショットは 1 2 5 k H z で採取される。4 秒スナップショットは 5 0 % 出力で最低速の軸の 2 0 0 回転を得るために必要である。例えば、ギア－・チャート 3 4 2 では、最低速軸はオイル・ポンプ駆動軸 # 1 と # 2 であり、各々は $10 \cdot 2 \times 10^3$ 秒 / 回転の周期を有する。それ故、5 0 % 出力で周期が 2 倍になり、2 0 0 回転が 4 . 0 8 秒で完了する。

【 0 0 5 7 】

4 秒スナップショットの間に、 NH_{raw} と振動の 5 0 0 , 0 0 0 試料 ($125 \text{ k H z} \times 4 \text{ 秒} = 500,000$) が採取される。データは次にメモリに記憶され、妥当性確認回路 3 3 2 と 3 3 4 で妥当性が確認される。妥当性確認回路 3 3 2 と 3 3 4 は次に、範囲、率及び統計面の検査を実施して、データを回路 3 3 6 a に提供する前の 5 0 0 , 0 0 0 試料からいかなる誤りデータ点をも排除する。回路 3 3 6 a は、回転数検知車輪の個々のギア－歯の通過を示すデータ点を識別する。次の回路 3 3 6 b は、各ゼロ時間を決めるために交差データ点間に補間し、結果をメモリ 3 3 6 c に記憶する。

【 0 0 5 8 】

チャート 3 4 2 は、ギア－ V M T 2 0 0 によりモニターすることができる 1 0 個のエンジン・ギア－の代表的リストを提供する。期間 (T)、ギア－歯通過周波数、歯の数が各ギア－に提供され、不揮発性メモリに記憶される。期間と通過周期に関するデータは 1 0 0 % 定格回転数を表す。1 回転当たりの再試料点の数は選択されたギア－の 1 2 5 k H z 試料率と期間に基づいて決められる。平均回転数 NH は、データ獲得構成要素 3 2 0 により決められ、定格回転数のパーセンテージに基づいて期間と通過周期を調節するために使用される。関連の第 1 ギア－が選択され、通過周波数 (f_{pass}) と期間 (T) がチャート

3 4 2 からの出力として提供される。再試料または選択率が、T を偶数のインクレメント、通常 2 5 6 に分割することで決められる。データは初めに、各 2 0 0 回転に関するデータ組にグループ分けされる。データは次に、インターバルの開始で回転数信号ゼロ交差で始まり、S T インターバルで継続し、且つ期間 T で終了する未加工のデータ組から選択される。この処理が繰り返され、幅 S T の各連続したウィンドウに関し 1 組のデータ点を集積する。2 0 0 データ組の最小値が集められ、各々が関連のギアの 1 完全回転に同期される。2 0 0 データ組の 1 つの表示がデータ・チャート 3 4 4 に示される。

【 0 0 5 9 】

2 0 0 データ組は次に、1 つを別の頂部にというように波形を有効に重ねて、データ・グラフ 3 4 6 に示すように、似た点同志で平均される。関連の周期性を示さない信号は、各点の大きくランダムなエクスカッションとして出現し、それ故ゼロに達する一方、周期の値が特定の値に付加し平均を示す。

10

【 0 0 6 0 】

このフィルター処理されたデータは次にスペクトル応答 3 5 0 を引き出すために F F T 3 4 8 で処理される。軸回転数、ギア通過周波数及び高い調和のような差し迫った欠陥に相関しないスペクトル構成要素が知られているので、これらの「予期される」構成要素がスペクトル・エンベロープから排除され、「残留スペクトル」3 5 2 と称されるものまたは潜在的問題に対応する残留周波数を与える。逆 F F T が実施され、残留スペクトル 3 5 3 と残留構成部材の振幅が R M S 平均され、単独振幅 A_{RMS} を与える。この振幅 A_{RMS} は時間標識され（エンジン時間の項目で）、不揮発性メモリ・バッファに回転数の関数として記憶され、時間の関数として傾向推移し、傾向線の傾斜が、時間残存予知指示計値を計算するために警報レベルに対し比較される。この処理は、図 3 に記述したものに同様の傾向がある 1 0 個の個別の指示計全部の各ギアに関して繰り返される。

20

【 0 0 6 1 】

振幅トレンドング回路 3 8 0 は、エンジン軸 V M S の振幅トレンドング部 2 8 0 により実施されたと同様に、選択されたギアに関する最低警報設定を決定する。振幅トレンドング回路 3 8 0 は、各ポイント・オーバータイムで採取されたデータに関して多項曲線適合を実施し、曲線の傾斜を推定する。曲線の傾斜に基づいて、各ギアに関して警報状態までに残された時間が予測される。

【 0 0 6 2 】

各ギアの警報状態までに残された時間は不揮発性メモリに記憶される。各ギアに関して警報設定は、エンジン時計 2 6 5 と警報状態までに残された時間とに基づいて決定される。各ギアの最低アラーム設定は次に、警報設定構成要素 3 8 0 からオークショニング回路 5 1 0（図 6 参照）の出力として提供される。

30

【 0 0 6 3 】

この技法により、ギア保全に関する強力な評価が得られる、即ち、残留 R M S 振幅は、問題が存在するとき劇的に変化する傾向を示す。それ故、警報レベルの設定は、振動伝達率のエンジン間変動に鈍感であるべきである。

【 0 0 6 4 】

ここで図 5 を参照すると、図 5 は、共通して参照番号 4 0 0 として示される代表的エンジン・ベアリング振動モニタリング・トレンドング（V M T）システムの機能ブロック線図を提供する。ギア V M T 3 0 0 と同様に、ベアリング V M T システム 4 0 0 は、データ獲得・記憶構成要素 4 2 0、獲得データをフィルター処理してそれからスペクトル応答をつくるデータ変換構成要素 4 4 0、及び各ベアリングの最低警報設定を推定するトレンドング警報セグメント 4 8 0 を備える。

40

【 0 0 6 5 】

エンジン・ベアリング V M T システムは、エンジンに取り付けた加速度計を用いることによって、いくつかのエンジン・ベアリングの振動レベルを計測し、振動レベルの変化に基づいて、警報設定に到達するまでの残存時間を予告する。ベアリングの代表的リストがチャートに含まれる。

50

【 0 0 6 6 】

ベアリングは軸又はギアーよりも本来的にモニタリングが困難である。この理由は、ベアリングが正常作動中のみならず破損時にも静かであるためである。静かで低い振幅は、検知が困難であるのみならず、他の構成部材の高い振幅により覆い隠される傾向にある。総括的なスペクトルからベアリングの信号を抽出するためには、革新的な技法を使用する必要がある。この目的に、所定の技法を使用すると、高次高調波ベアリング周波数、典型的には5次、が、高次高調波により励起される構造共振から抽出される。構造共振により、ベアリング振動が増幅され従って振動センサーにより「聴取」され得る手段が提供される。

【 0 0 6 7 】

図5は、参照番号400として示されるエンジン・ベアリングVMTシステムの機能ブロック線図を提供する。本明細書に開示される代表的実施例では、ベアリングはエンジンの全域に設置され、それ故、いずれのベアリングが評価されるかによってデータは前部と後部の加速度計から得られる。エンジン・ベアリング振動データは、エンジン軸VMTシステム200に関して記述されたと同様に獲得される。

【 0 0 6 8 】

作動中は、データ獲得構成要素420は主エンジン制御からいくつかの回転数とトルクの信号を収受する。40個の試料が採取される一方、加速度計データが捕捉され、ランダム・アクセス・メモリに記憶される。エンジンが定常状態検出器に指示されるように定常状態にある場合、広域組の未加工振動データが4秒に渡り125kHz率で捕捉される。これは500,000データ点を表す。3つの軸、即ちNH、NP及びNLの回転数もまた4秒に渡り試料採取され、各軸の平均回転数がメモリ430に記憶される。未加工の振動データが時間標識され、後処理によりメモリ432と434に記憶される。

【 0 0 6 9 】

チャート442は、いずれの軸が特定のベアリングを駆動するかのみならず、いずれの加速度計、熱90b又は冷90a、が選択されたベアリングから構造由来のノイズを検出するかをも示している。例えば、HP軸は#4ベアリングを駆動し、このベアリングに関連した振動が熱加速度計90bにより検出される。それ故、スイッチ436の位置は、モニタリングされる選択ベアリングに基づいており、いずれの加速度計がトレンドング警報セグメント480にデータ信号を提供するかを決定する。

【 0 0 7 0 】

各データ点が、範囲、率、および統計面の検査により種々の手段により妥当性を確認される。選択された加速度計の未加工データはフィルター処理され、「復調され」、且つ16のデータ・ブロック448にグループ化される。復調は、高周波担体から振幅復調された可聴信号を抽出して、関連の低周波信号を与えることとして単純に記述することができる。この場合、可聴信号はベアリング音調であり、高周波担体はベアリング音調の5次高調波に対応するエンジン構造共振である。

【 0 0 7 1 】

FFT450が次にスペクトル応答452を引き出すために復調された信号につき採取される。各ベアリングが、ボールの数と大きさ及び内側と外側の軌道輪の大きさに関して、その固有で特定の幾何学的形状を有するので、各ベアリングに関して得られた特徴的周波数はメモリに記憶され、ベアリング・データベースとして参照に供される。データベースは、チャート442に示され、各ベアリングに関する4個の特徴的周波数、即ち、内側軌道輪通過周波数(f_i)、外側軌道輪通過周波数(f_o)、保持器周波数(f_c)、及びローラー/ボール・スピン周波数(f_s)を周波数スペクトルから抽出するために使用される。これらの各ベアリング音調の振幅、4個の振幅と交差対計測のRMS平均化総計につき、残存時間予知指示値を計算するために先に記述したのようにその傾向を求める。この処理は、代表的エンジンに関して傾向を求めるために潜在的に必要である $21 \times 6 = 126$ の指示計の全てに関して各ベアリングに対して繰り返す。

【 0 0 7 2 】

NH、NL、NP、QS 及び時間 (t) が、エンジン軸 VMS の振幅トレンド部 80 により実施されたと同様に選択ベアリングに関して最低警報設定を決定する振幅トレンド回路 480 に提供される。振幅トレンド回路 480 は、各点の採取されたデータに関して多項曲線適合を実施し、曲線の傾斜を推定する。曲線の傾斜とデータ点の外挿に基づいて、各回転数とトルクの帯域に関する警報状態までに残された時間が予告される。

【0073】

各ベアリングに対して警報設定が、エンジン時計と警報状態までに残された予告時間とに基づいて決定される。各ベアリングに対する警報設定の最低値が次に、警報設定要素 480 からオークション回路 510 への出力として提供される (図 6)。

10

【0074】

この技法により、ベアリング保全の強力な評価が与えられる、即ち、ベアリング音調振幅が、問題が存在するときに劇的に変化する傾向を示す。それ故、警報レベルを設定することは、振動伝達率においてエンジン振動に鈍感であるべきである。

【0075】

図 6 を参照すると、図 6 は、航空機エンジンに関して機械的故障までの残存時間を推定する代表的方法を示す機能ブロック線図を提供する。エンジン軸 VMT システム 200、ギア VMT システム 300、及びベアリング VMT システム 400 により決定される最低警報設定は、オークション回路 510 に提供される。最低警報設定はオークション回路 510 から加算ジャンクション 512 への出力として提供される。

20

【0076】

エンジンが動いている場合、時計 514 は、毎秒アップデートされ、エンジンの累積的量が作動したことを追跡し、且つ毎分この時間を不揮発性メモリに記憶する。加算ジャンクション 512 では、累積的作動時間が最低警報設定から抽出されるとともに、機械的故障までの残存時間がエンジン作動時間にて決定される。機械的故障までの残存時間を表す信号が、何時保守を計画すべきかを決定するパイロット又は整備員を支援するデータ・ディスプレイを駆動するために使用可能である。

【0077】

ここで図 7 を参照すると、図 7 は、補償型加速度計振動信号に関する対応曲線の図式表示を提供する。エンジン構成部材の潜在的高回転数を与えられた場合、加速度計は 37 kHz の最小帯域幅を示す必要がある (フラットとして $\pm 5\%$ 以内までの帯域幅の定義に基づいて)。この帯域幅は多くの加速度計の可能出力を越えているが、45 kHz の機械的共振を有する加速度計を用いてこの可能出力を生み出す、周波数補償に関する技法が開発された。このことによって、関連の最高周波数の検出が可能になる。本明細書に開示される実施例では、これらにより、付属ギア・ボックスを駆動するタワー軸のギア歯の故障と、ベアリング周波数の 5 次高調波を励起するベアリングの故障とが表示される。5 次高調波は重要である、これは、技法が、エンジンのより主要な軸とギアの周波数振幅から相対的低エネルギーのベアリング振幅を分離するために使用されるからである。

30

【0078】

補償型信号に関する対応曲線が図 7 に示される。補償ネットワークはまた、抗エーリアシングのための重複 2 極フィルター (トータル 4 極)、始めにバターワース (Butterworth)、次にチェビシェフ (Chebyshev) を備える。補償ネットワークと 2 つのフィルターが、得られる出力に望ましいフラットネスを与えるために共に作動するように設計される。このグラフの曲線は、要素のみを感知する加速度計に対するのみならず抗エーリアシング・フィルターとの補償された信号にも対する、反応を示す。この実施例は、25 kHz の共振を示す加速度計の補償に基づいているが、結果は、使用される任意の回路に比例する。基本的曲線は、 $+0.4 \text{ dB} (+5\%)$ の基準線曲線の誤差が、25 kHz の機械的共振への道のりの単に 22%、5.5 kHz の周波数で起きることを示す。補償型信号はしかしながら、共振周波数の 80% である、20 kHz で同じ $+0.4 \text{ dB}$ 内でフラットである。上述のように、概念は、45 kHz の機械的共振に関して共振が 37 kHz で +

40

50

7 % 誤差で 3 6 k H z (+ 4 %) にフラットにされ得るように、任意の周波数に応じて決めることができる。

【 0 0 7 9 】

モンテカルロ法を用いて実施された許容誤差の検討により、調整回路と加速度計の両方に合理的な構成要素間の変動が与えられた場合、望ましい反応曲線が達成されることが示される。この補償ネットワークとフィルタは、チャージ変換機モジュール内の増幅器に容易に付加可能である。

【 0 0 8 0 】

本発明は好ましい実施例に関して記述されているけれども、当業者は、付属の特許請求の範囲により記述されるように、本発明の本質又は範囲から逸脱することなしに種々の変更及び / 又は修正が本発明に対して為され得ることを容易に理解するであろう。 10

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 8 1 】

本出願が関連する当業者が製造方法と使用方法を即座に理解するように、図面が参照として示される。

【 図 1 】 2 つの振動モニター・システム構成の模式表示である。即ち、F A D E C ベースのシステムと H U M S ベースのシステムである。

【 図 2 A 】 開示主題の振動モニタリング・システムと関連する電子的ハードウェアがエンジンの電子的制御装置 (E C U) とどのようにインターフェースするかを示す略線図である。 20

【 図 2 B 】 本開示の代表的振動モニタリング・システムの簡略正面図であり、エンジン・ハウジングに設置された第 1 (冷) 加速度計と第 2 (熱) 加速度計を示している。

【 図 3 】 図 3 A 、 図 3 B 及び 図 3 C の配置図である。

【 図 3 A 】 、

【 図 3 B 】 及び

【 図 3 C 】 エンジン軸の診断 / 予知に関する警報設定を決めるために主エンジン制御装置からの加速度計入力とデジタル・データを利用するための方法を示す機能ブロック線図を提供する。

【 図 4 】 図 4 A 、 図 4 B 及び 図 4 C の配置図である。

【 図 4 A 】 、

【 図 4 B 】 及び

【 図 4 C 】 いくつかのエンジン・ギアに関する振動モニタリングと診断 / 予知の取り組みを示す機能ブロック線図を提供する。

【 図 5 】 図 5 A 、 図 5 B 、 図 5 C 及び 図 5 D の配置図である。

【 図 5 A 】 、

【 図 5 B 】 、

【 図 5 C 】 及び

【 図 5 D 】 いくつかのエンジン・ベアリングに関する振動モニタリングと診断 / 予知の取り組みを示す機能ブロック線図を提供する。

【 図 6 】 いくつかのエンジン回転構成部材に関して確立された警報設定に基づいて機械的故障までに残されている時間を評価する方法を示す論理図である。 40

【 図 7 】 補償された加速度計周波数信号に関する対応曲線のグラフ表示を提供する。

【 0 0 8 2 】

開示主題に関するこれらの及び他の特徴は、好ましい実施例の詳細な記述から等業者にさらに即座に明らかになるであろう。

【図 1】

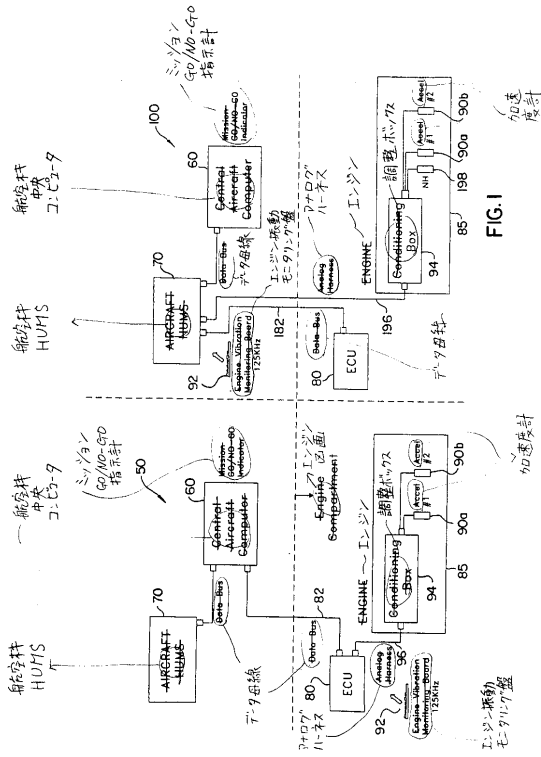


FIG. 1

【図 2 A】

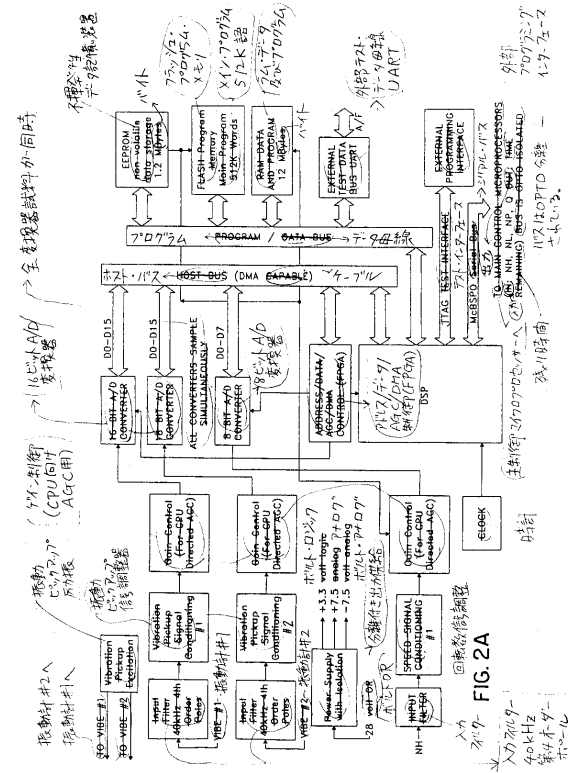


FIG. 2A

【図 2 B】

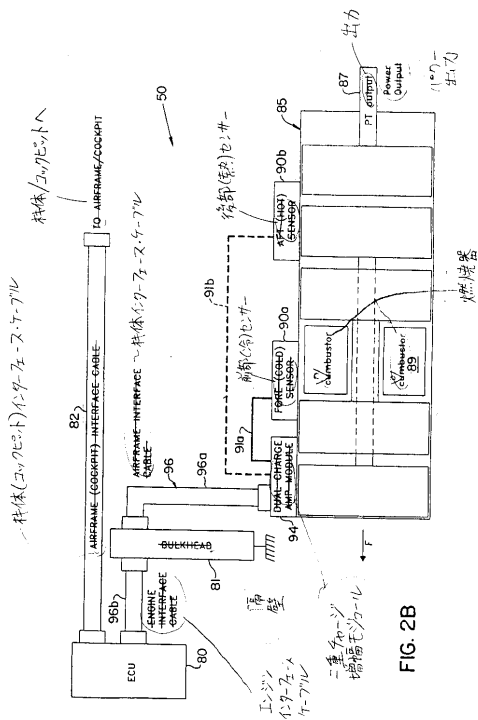


FIG. 2B

【図 3】

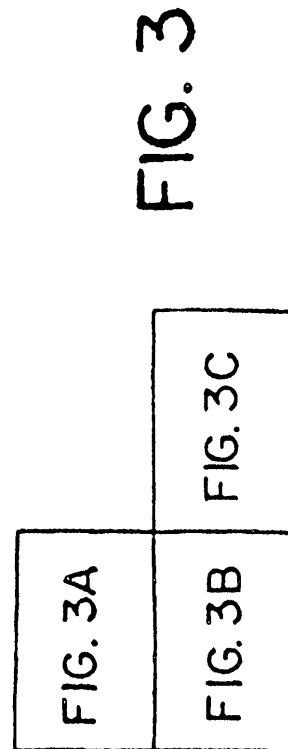
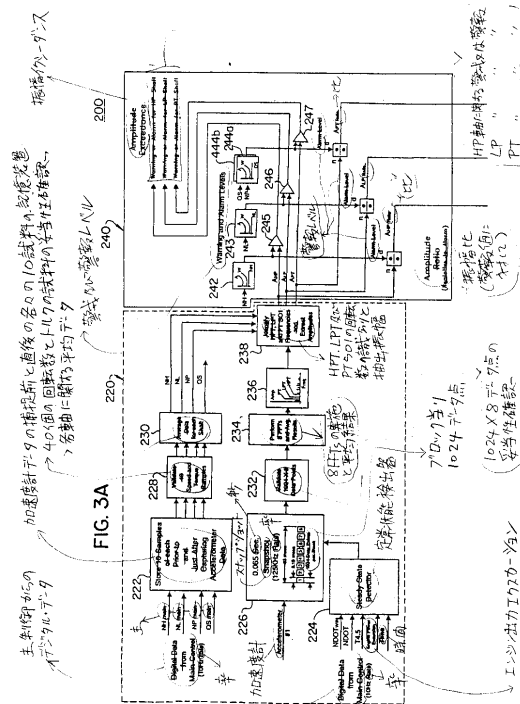


FIG. 3A

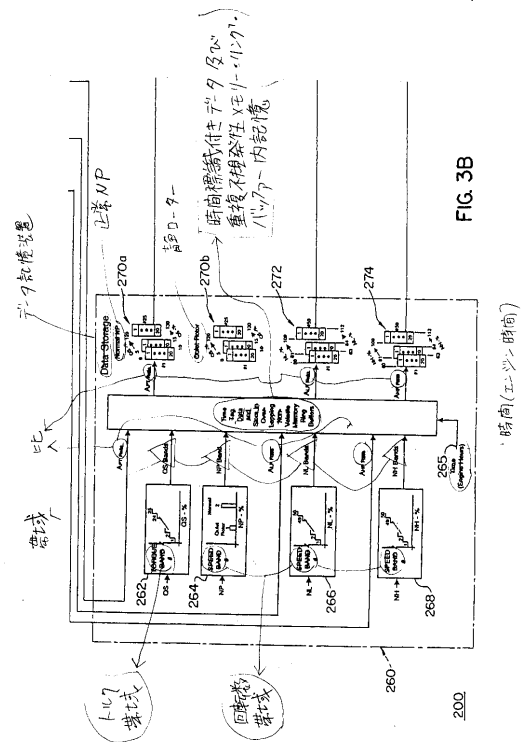
FIG. 3B

FIG. 3

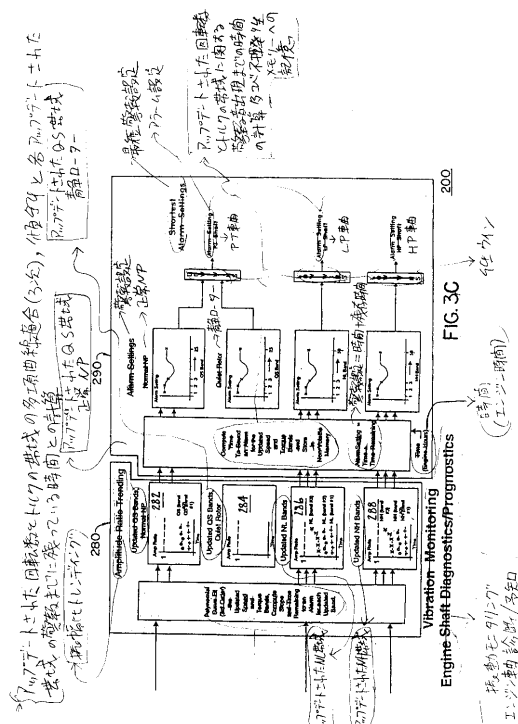
【 図 3 A 】



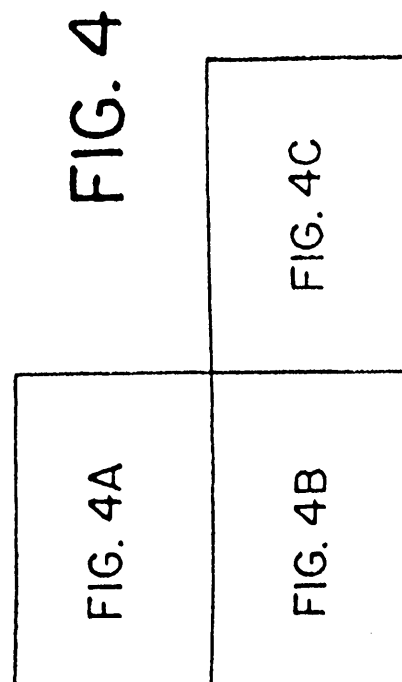
【 ㄨ 3 B 】



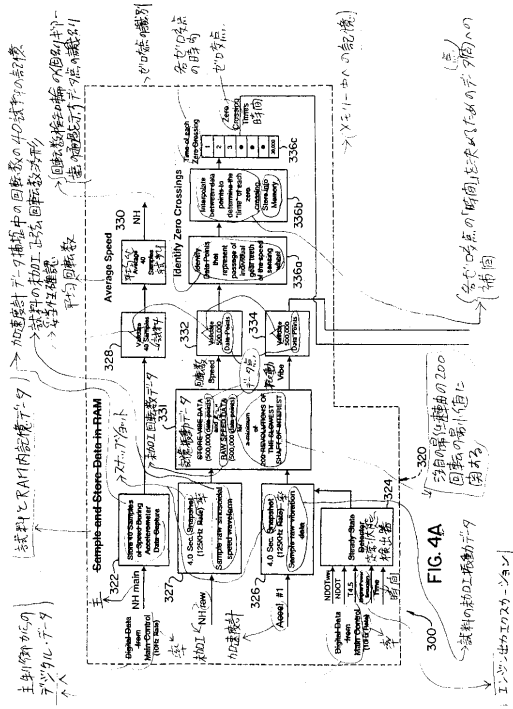
【 図 3 C 】



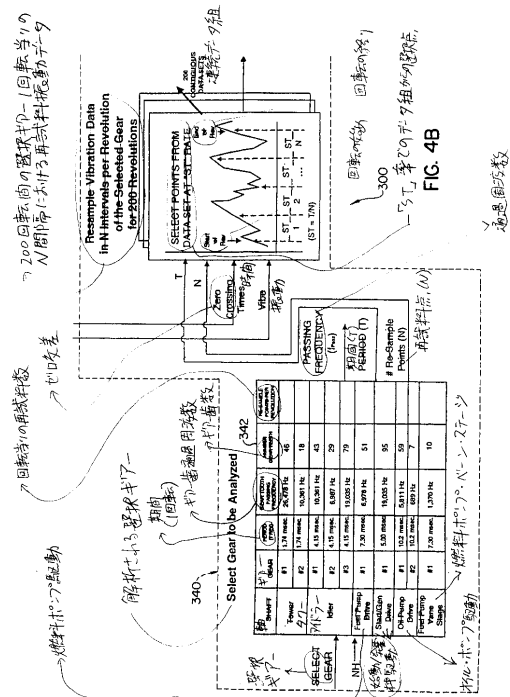
【 図 4 】



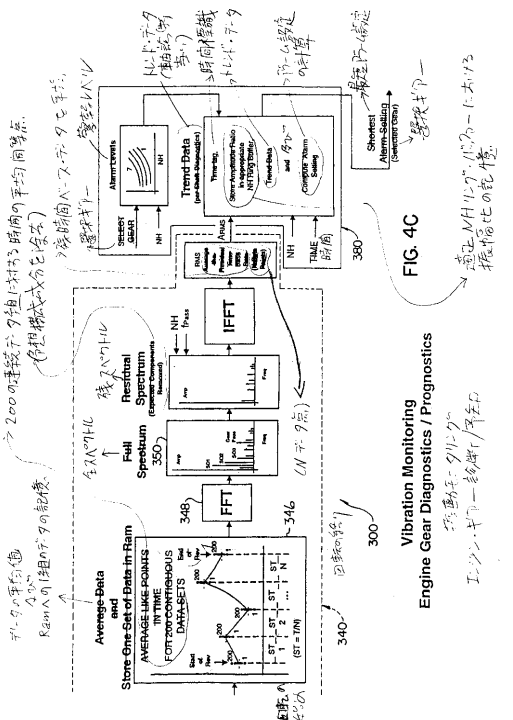
【図 4 A】



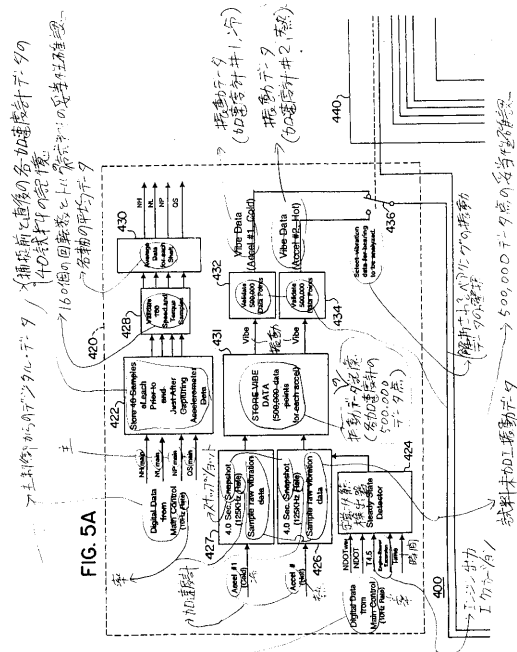
【図 4 B】



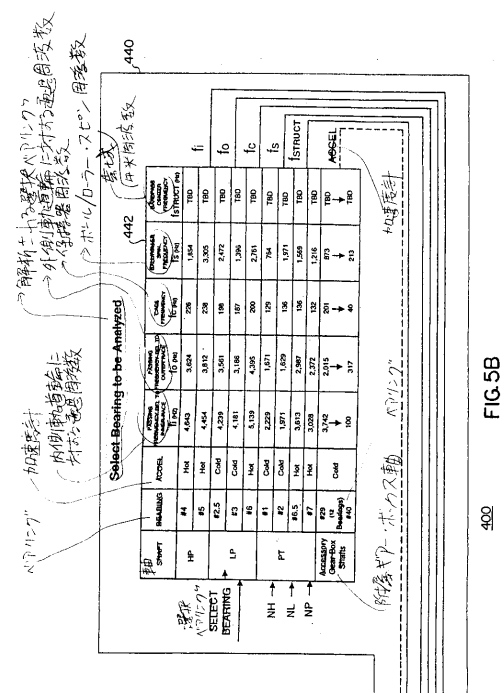
【図 4 C】



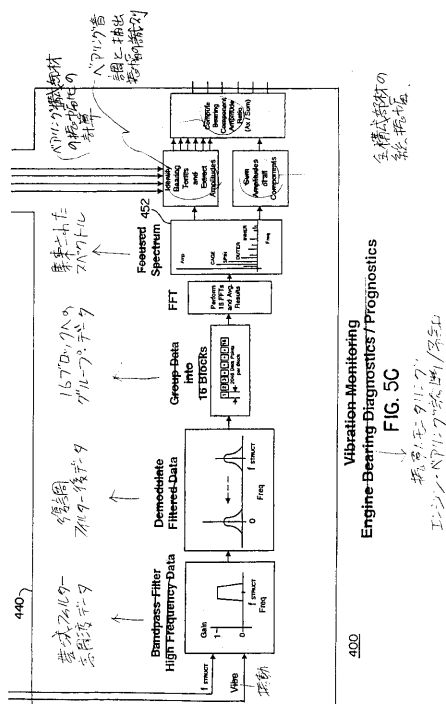
【 図 5 A 】



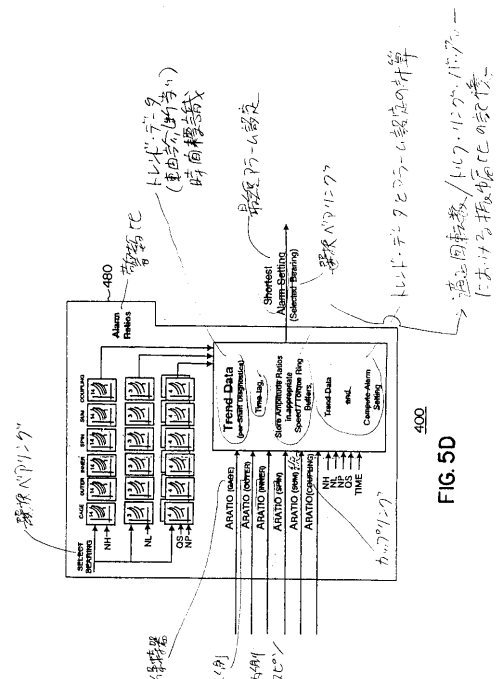
【 図 5 B 】



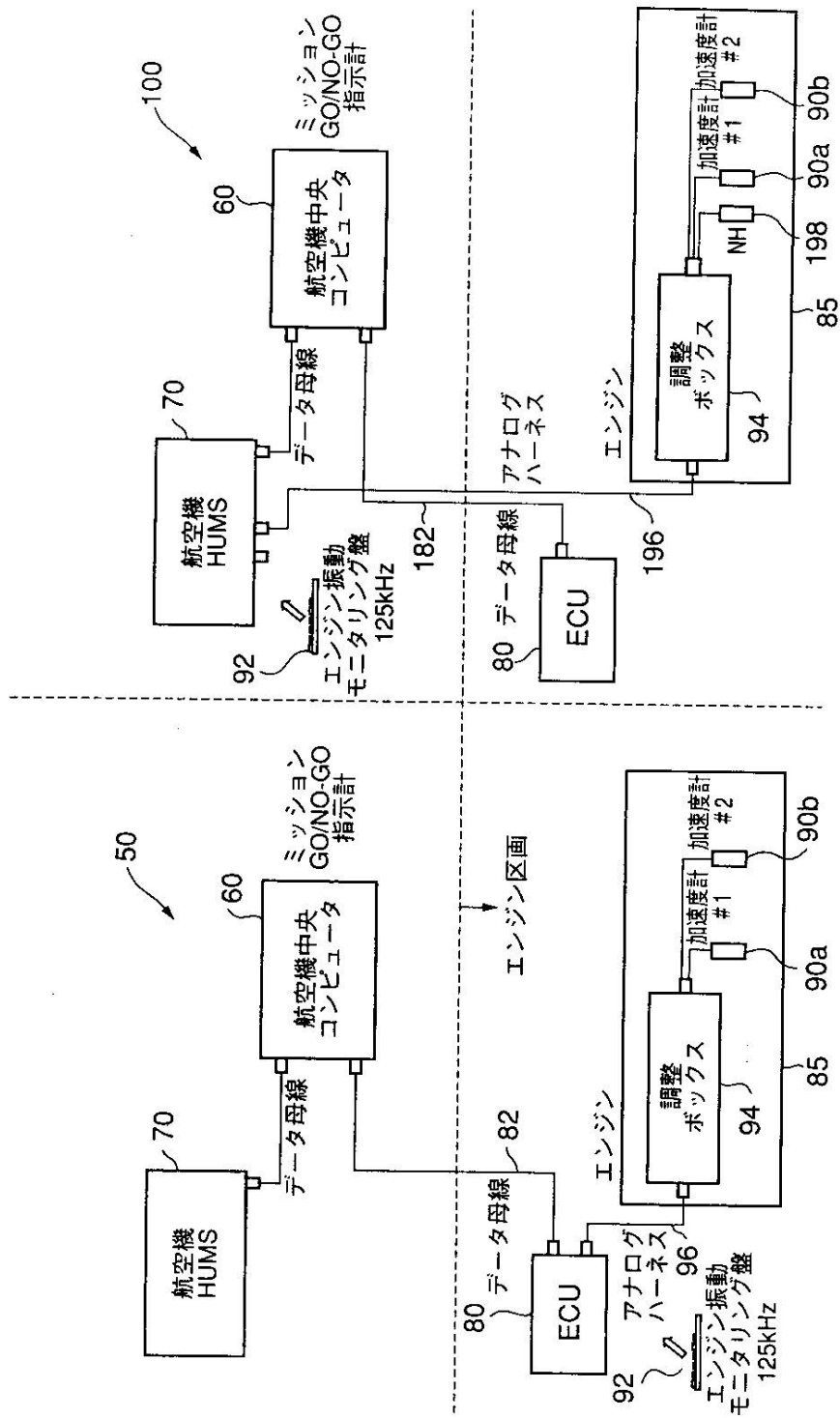
【 図 5 C 】



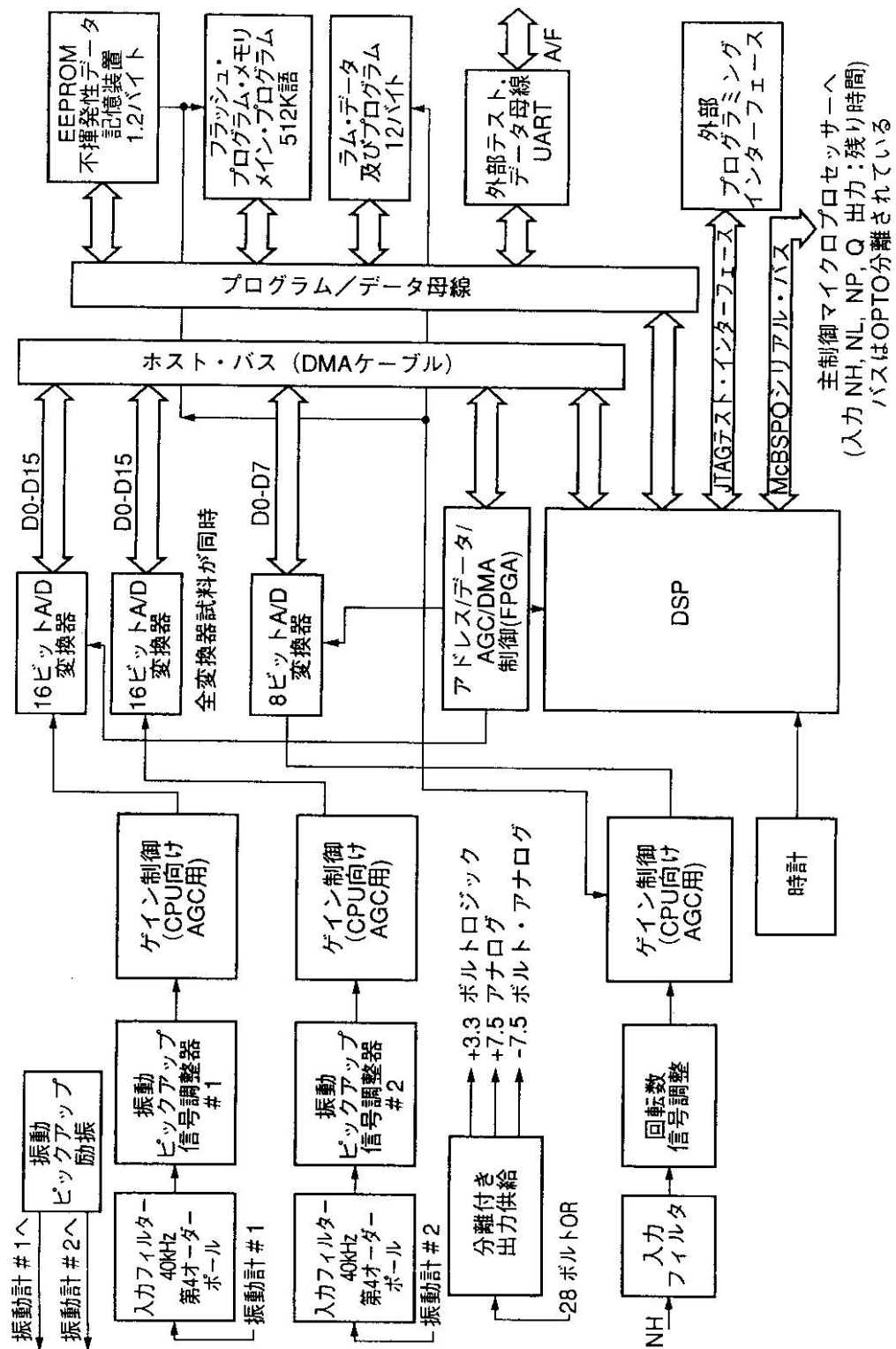
【 図 5 D 】



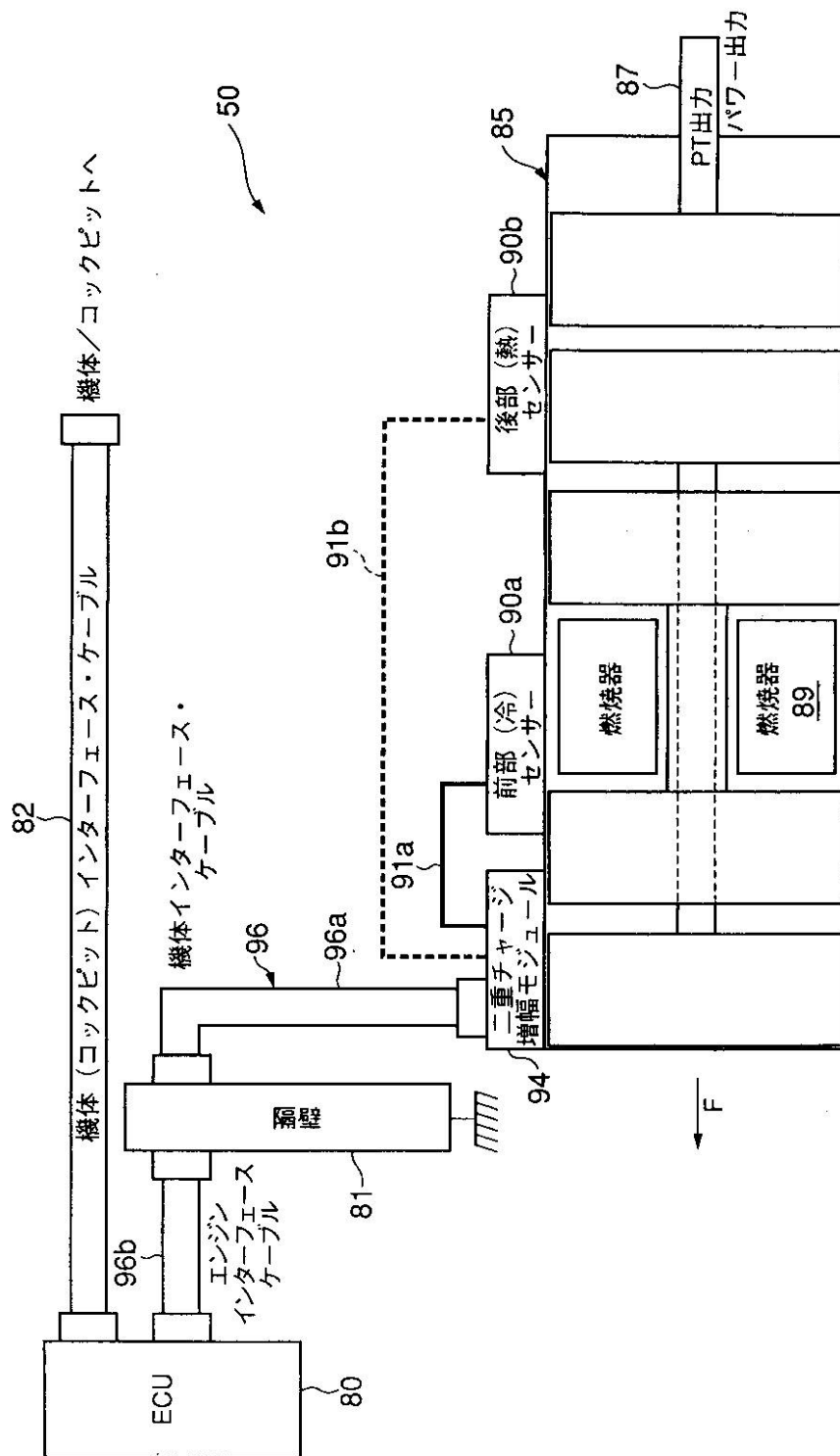
【図 1】



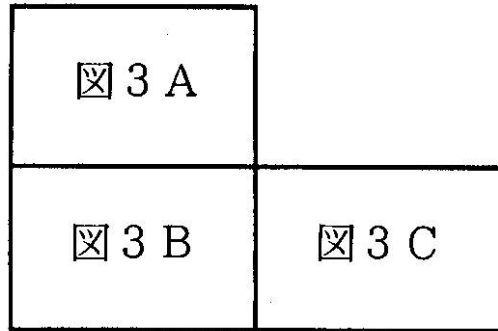
【図 2 A】



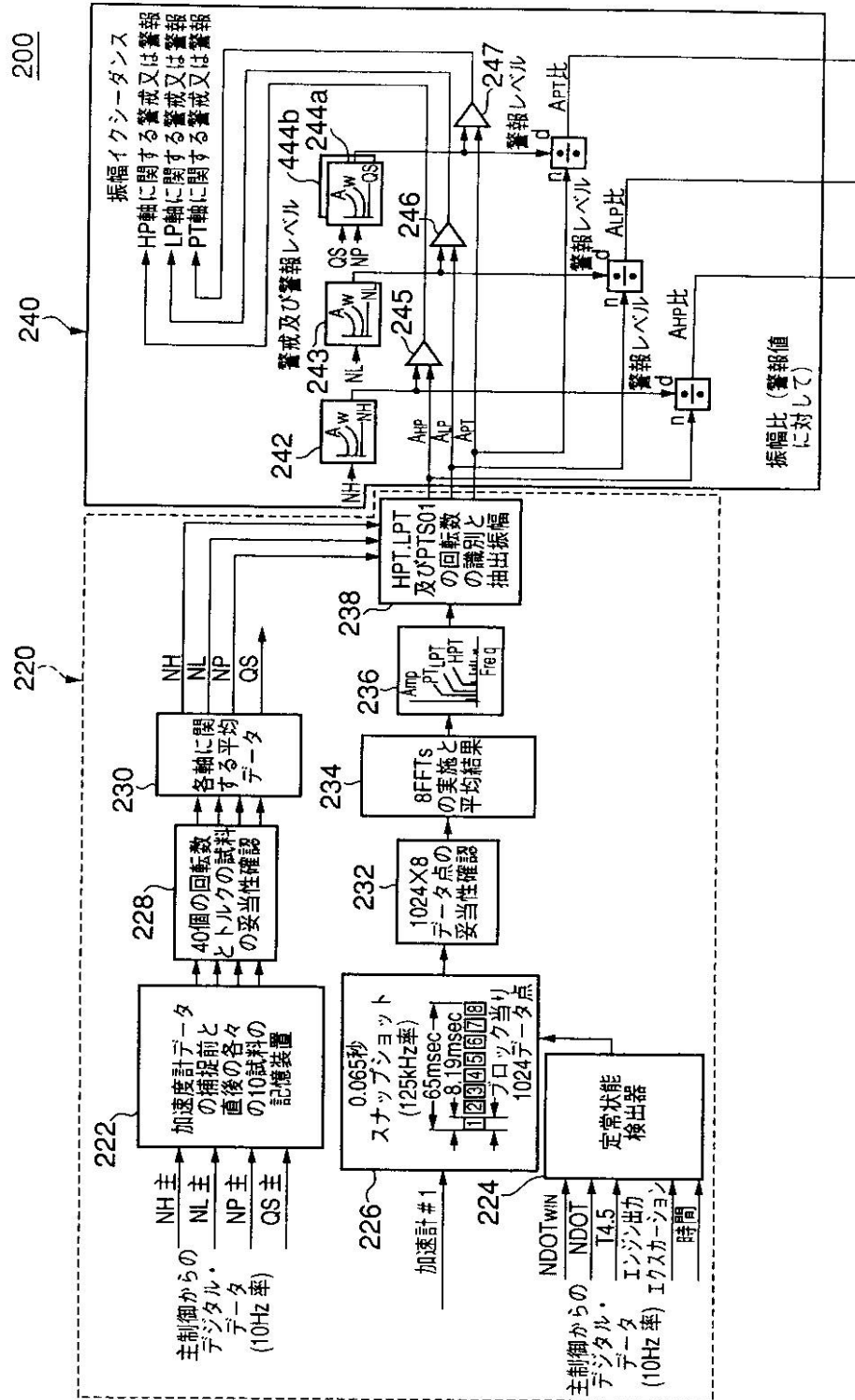
【図 2 B】



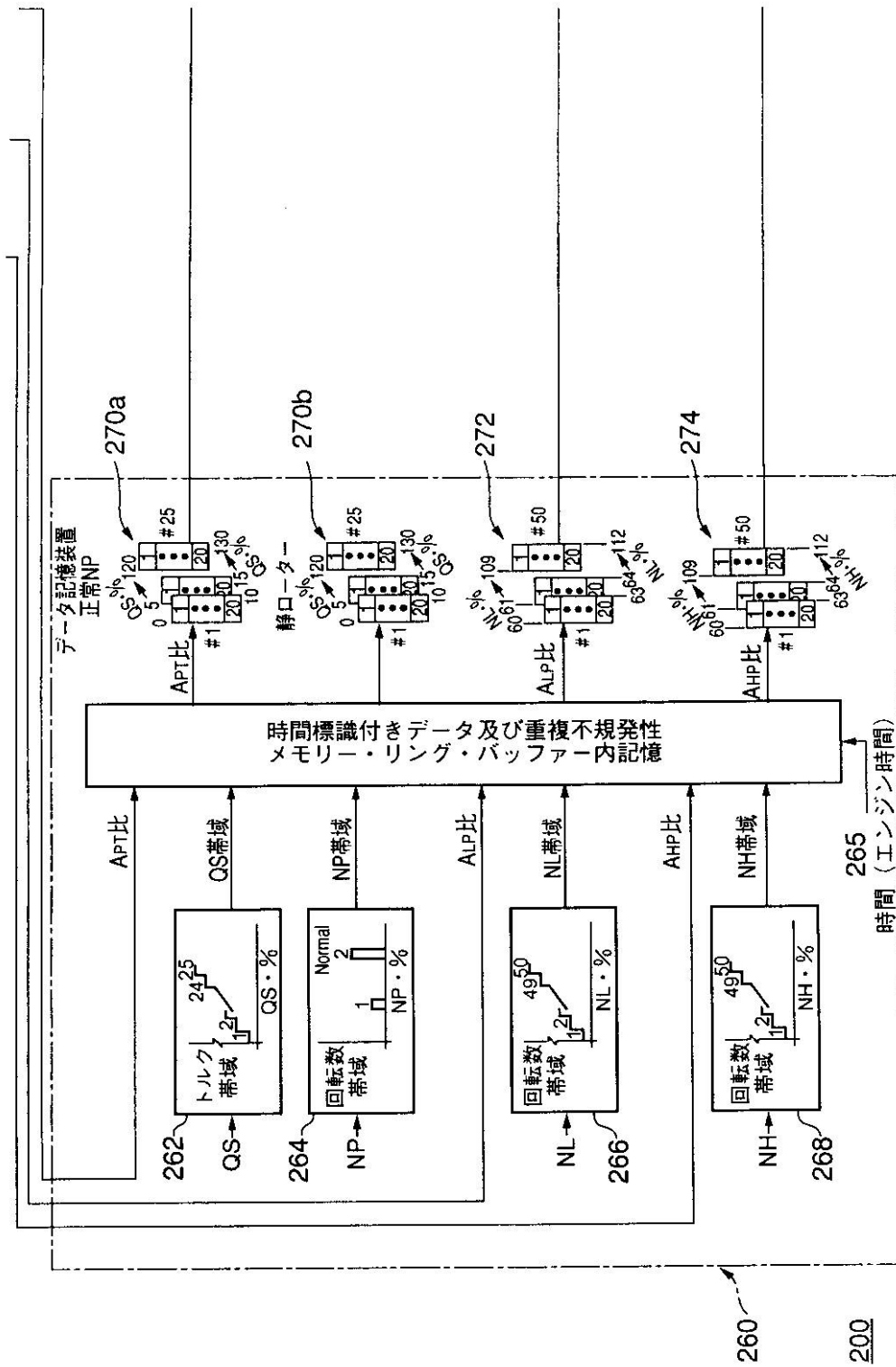
【 図 3 】



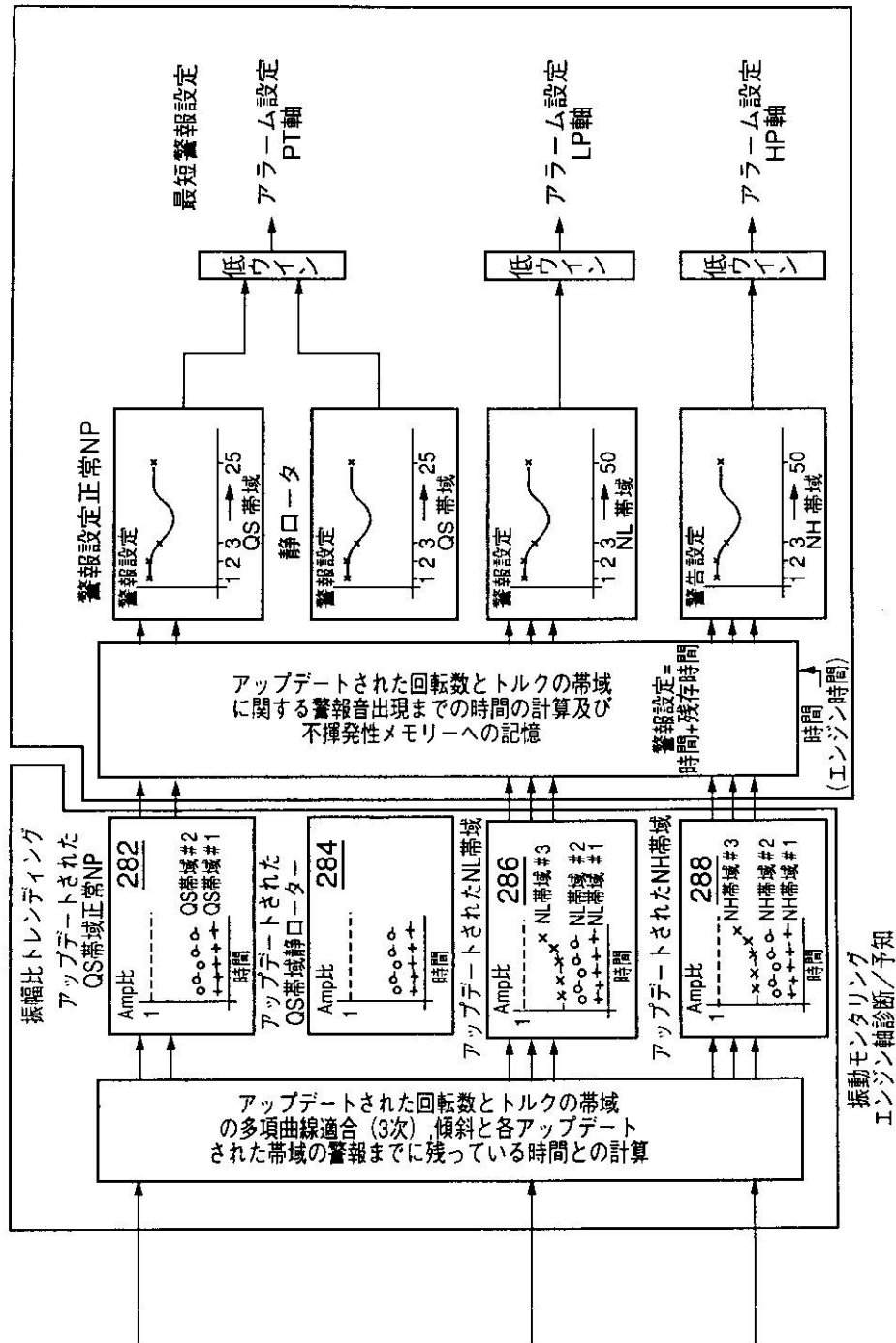
【図 3 A】



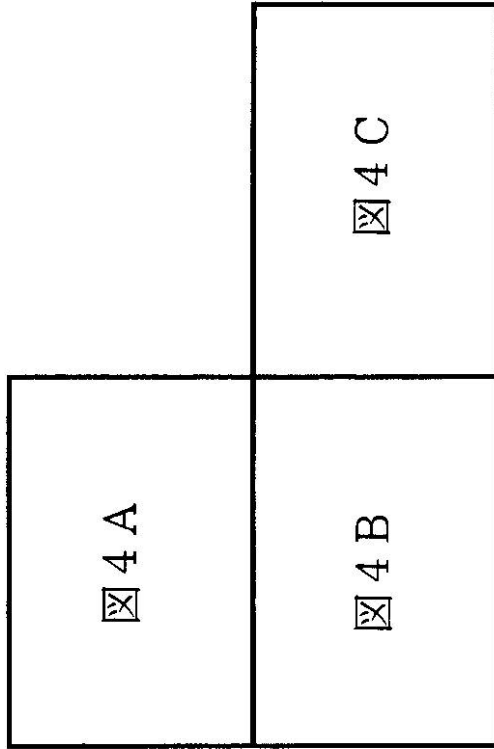
【図 3 B】



【図 3 C】

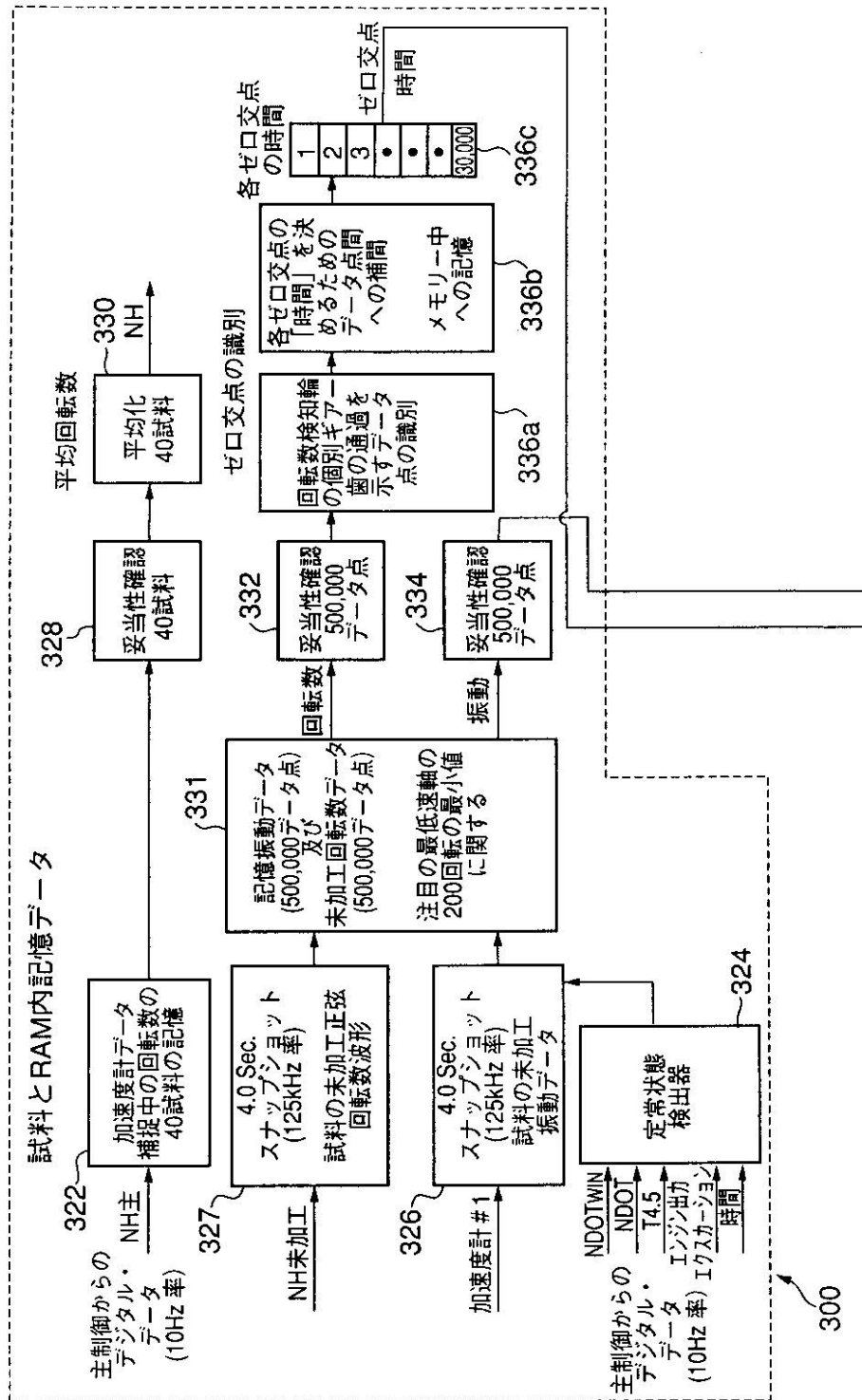


【 図 4 】

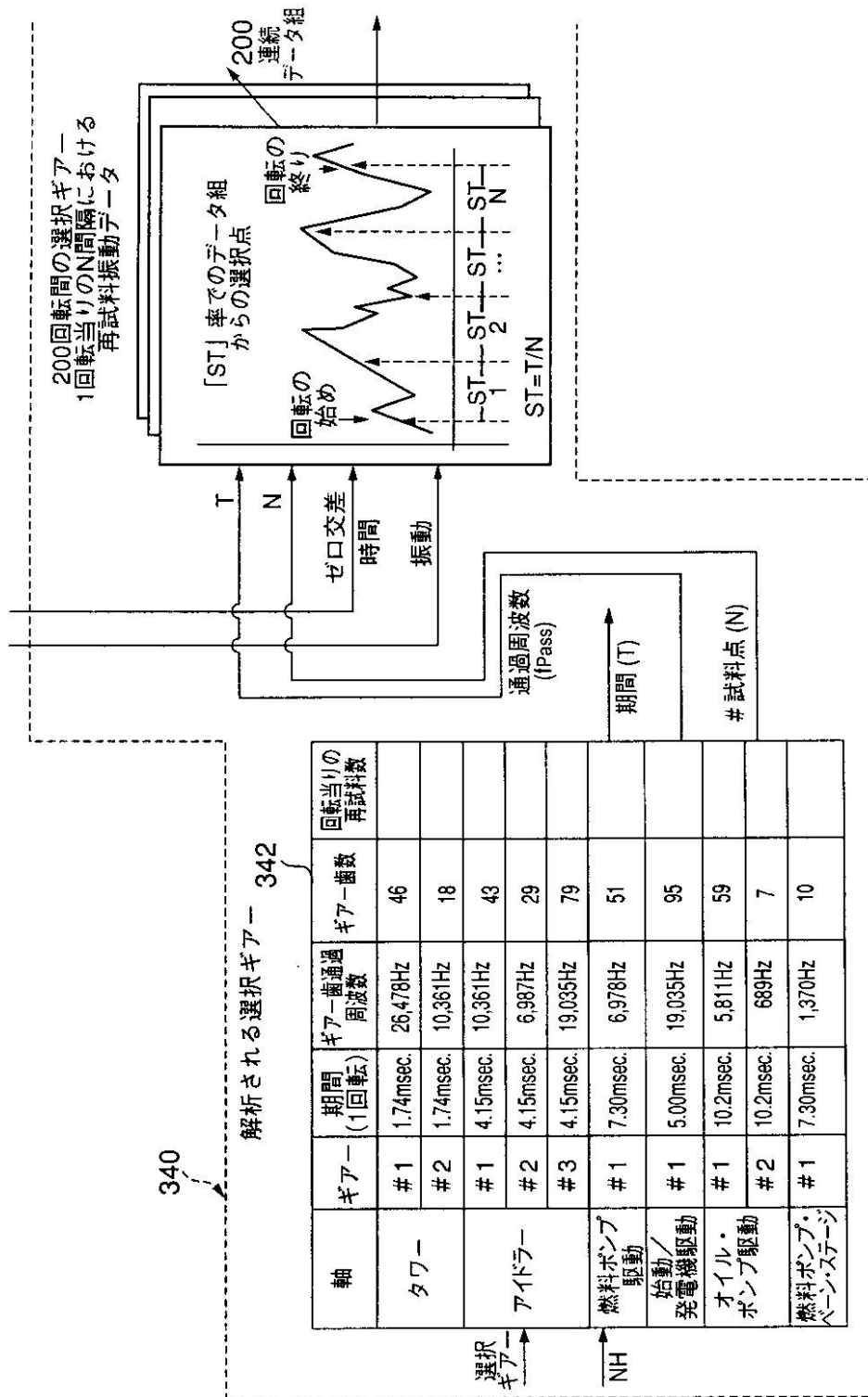


【図 4 A】

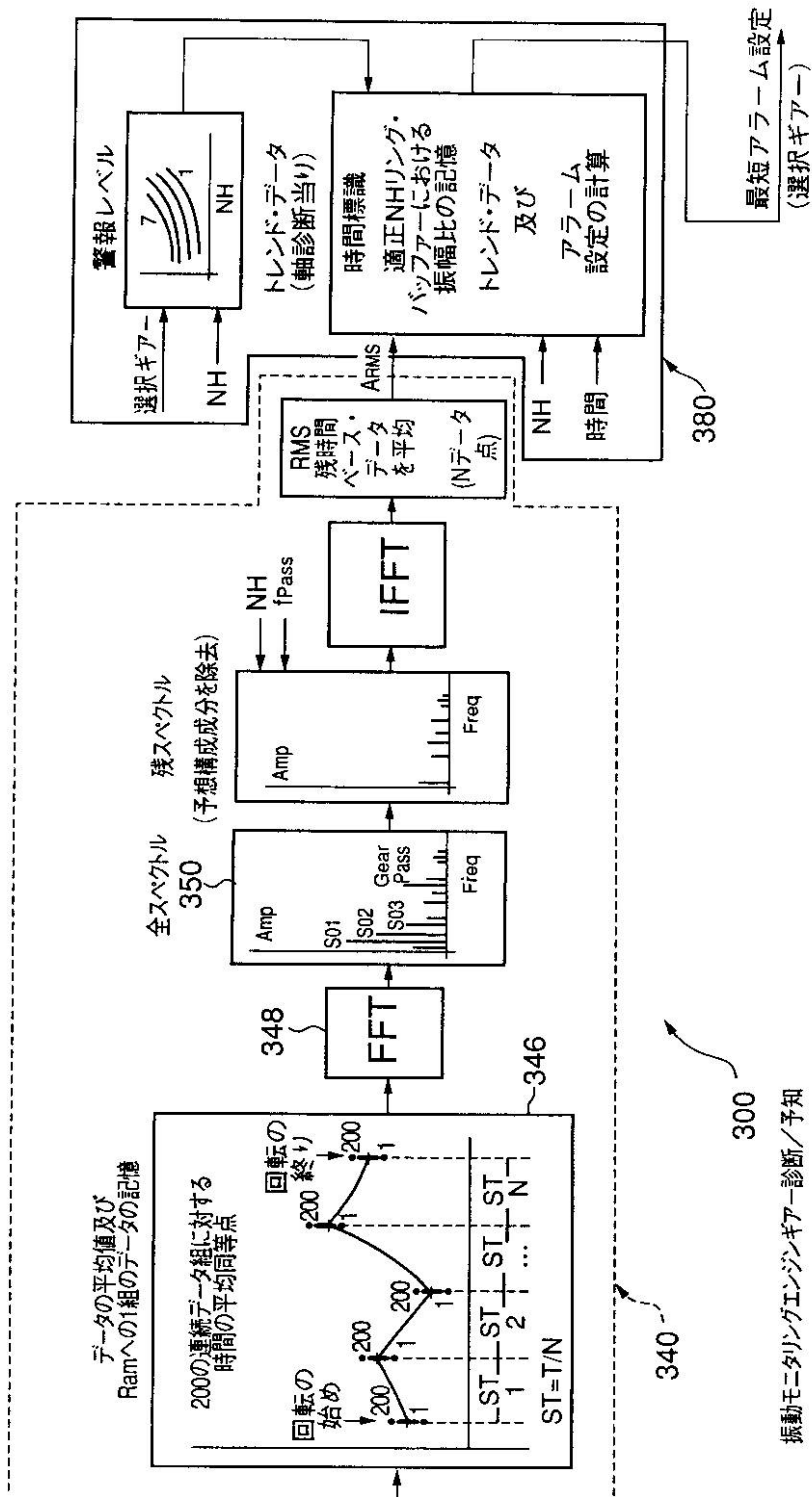
7/15



【図 4 B】



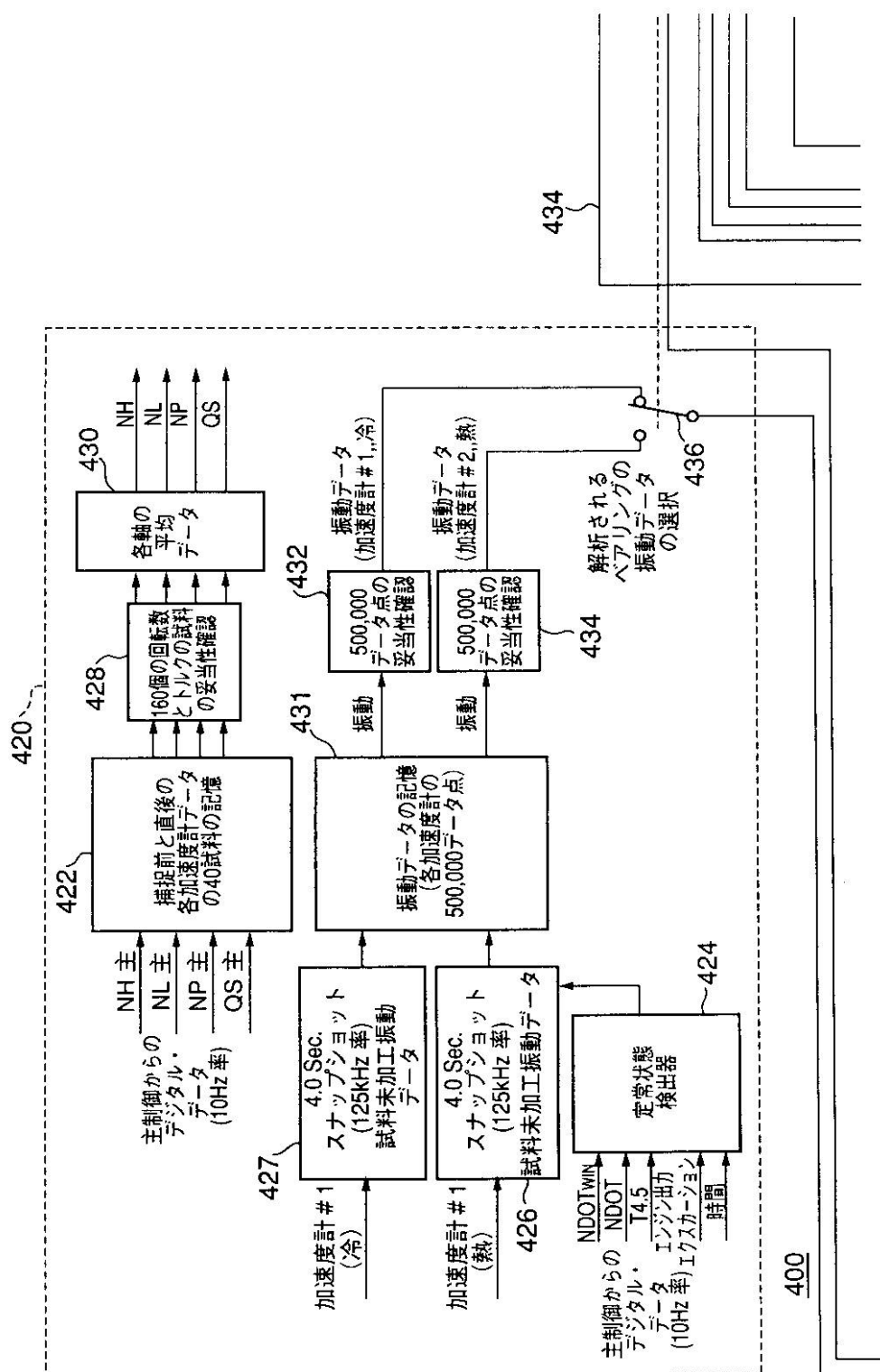
【図 4 C】



【 図 5 】

| | |
|-------|-------|
| 図 5 A | 図 5 B |
| 図 5 C | 図 5 D |

【 図 5 A 】



【図 5 B】

解析される選択ベアリング

442

~440

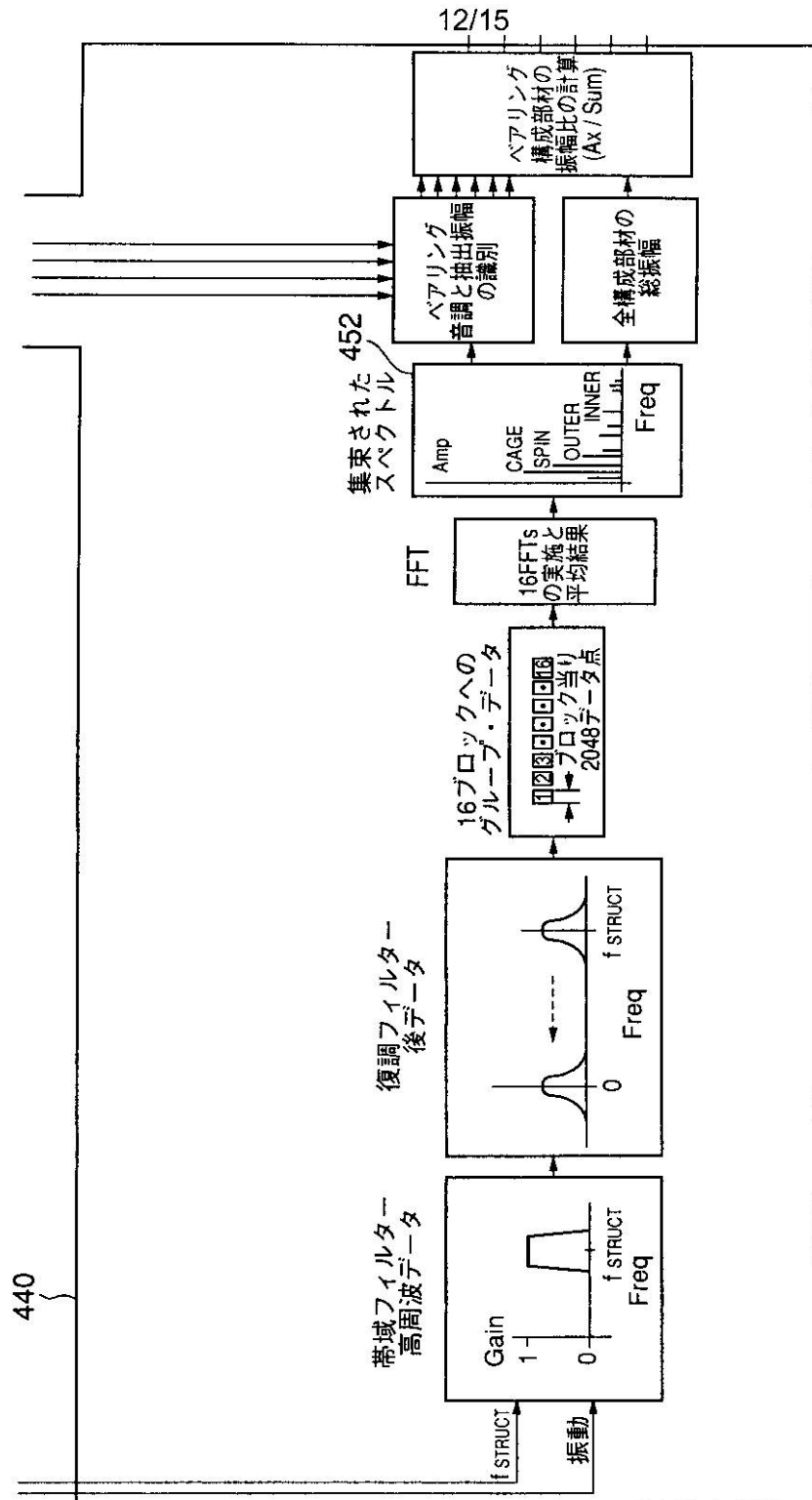
| 軸 | ベア リング | 加速度計 | 内側軌道輪 に対する 通過周波数 f_i (Hz) | 外側軌道輪 に対する 通過周波数 f_o (Hz) | 保持器 周波数 f_c (Hz) | ボール/ ローラー・ スピン周波数 f_s (Hz) | 帯域中央 周波数 f_{STRUCT} (Hz) |
|---------------------|-------------------|------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| HP | # 4 | Hot | 4,643 | 3,624 | 226 | 1,854 | TBD |
| | # 5 | Hot | 4,454 | 3,812 | 238 | 3,305 | TBD |
| LP | # 2.5 | Cold | 4,239 | 3,561 | 198 | 2,472 | TBD |
| | # 3 | Cold | 4,181 | 3,186 | 187 | 1,396 | TBD |
| | # 6 | Hot | 5,139 | 4,395 | 200 | 2,761 | TBD |
| | # 1 | Cold | 2,229 | 1,671 | 129 | 764 | TBD |
| PT | # 2 | Cold | 1,971 | 1,629 | 135 | 1,971 | TBD |
| | # 6.5 | Hot | 3,613 | 2,987 | 136 | 1,569 | TBD |
| | # 7 | Hot | 3,028 | 2,372 | 132 | 1,216 | TBD |
| | # 29 (12ベアリング) | Cold | 3,742 | 2,015 | 201 | 873 | TBD |
| 附属 ギアー・ ボックス軸 | # 40 | | 100 | 317 | 40 | 213 | TBD |

加速度的計

選択
ベアリング

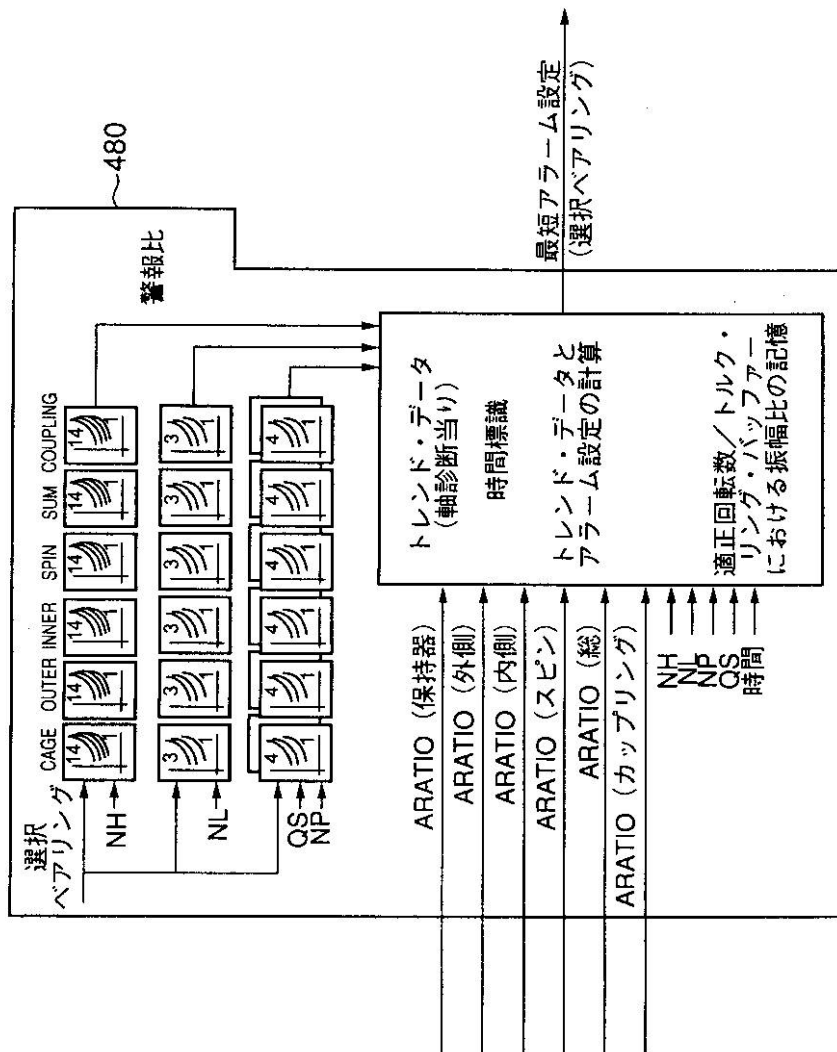
NH
NL
NP

【図 5 C】

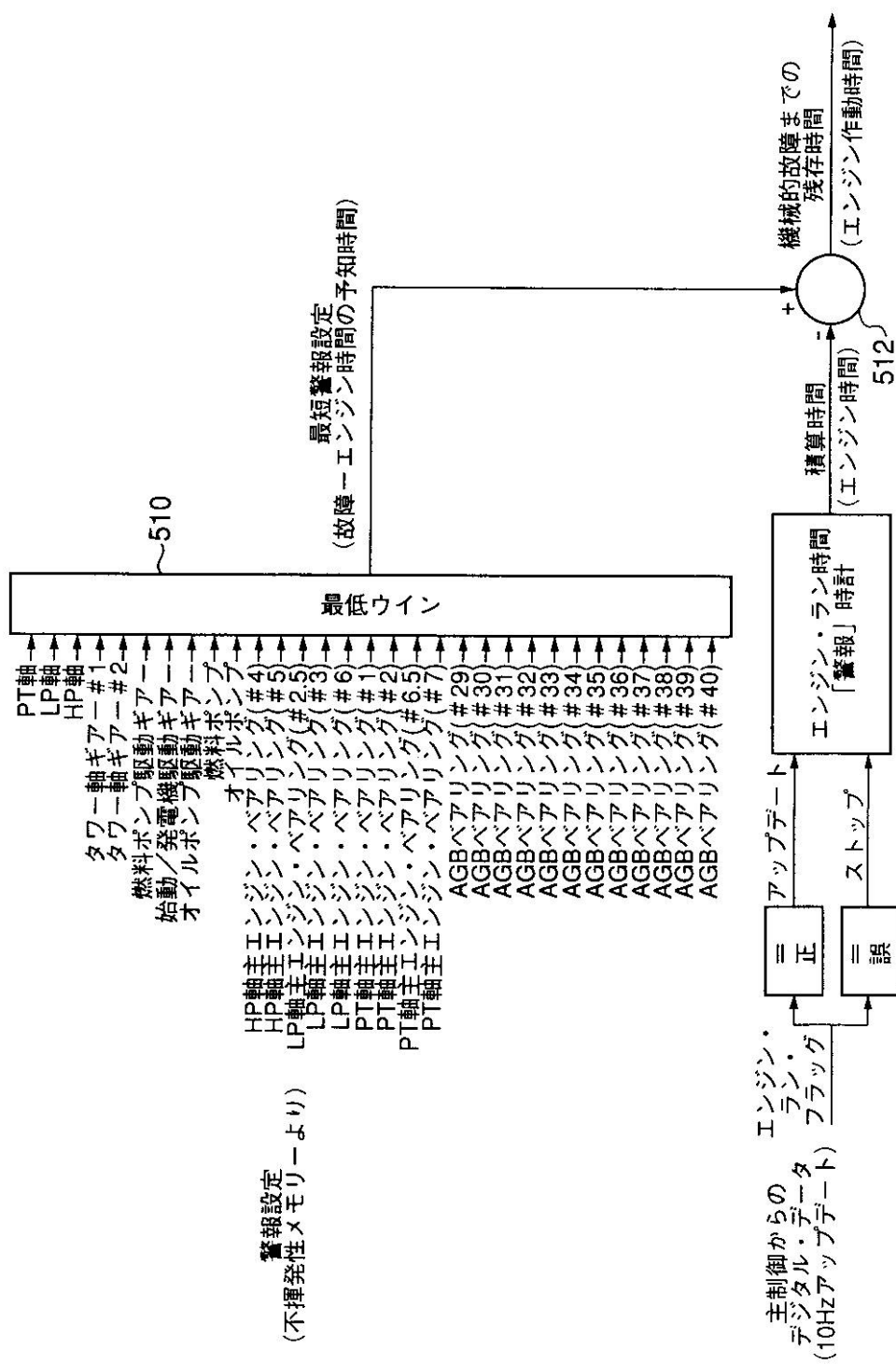


振動モニタリング
エンジン・ベアリング診断／予知

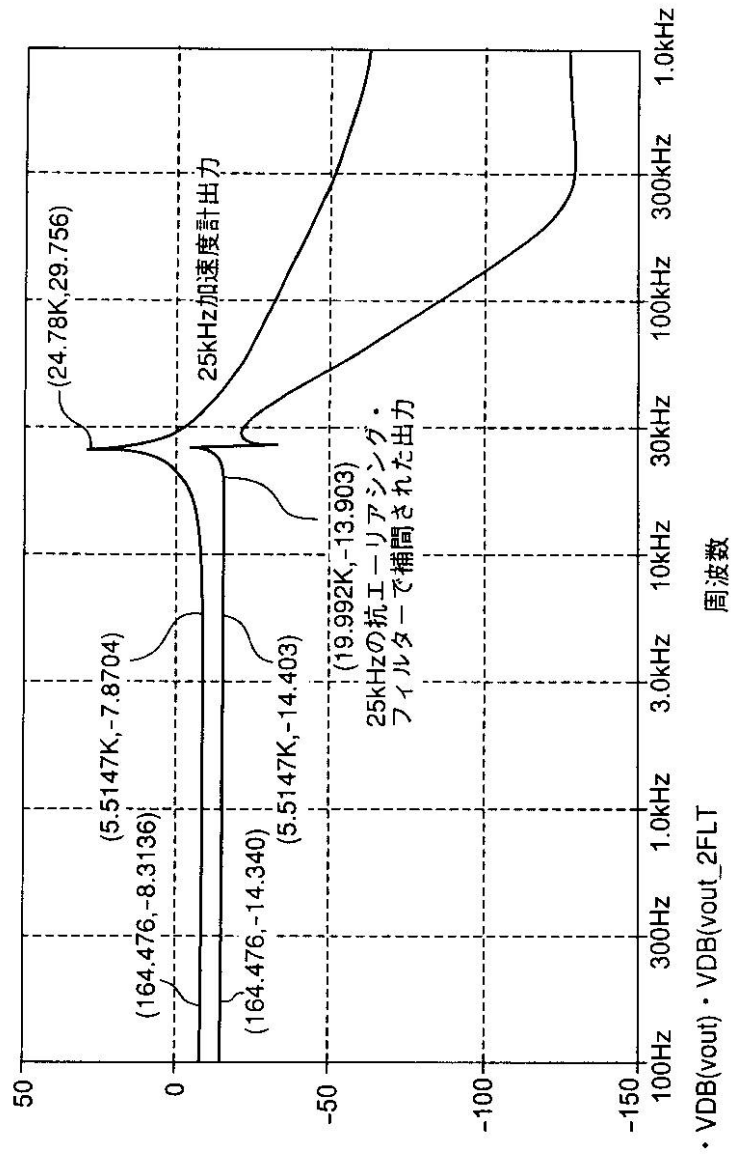
【図 5 D】



【图 6】



【図 7】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/US 02/36796

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01H1/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|--|--------------------------------|
| A | US 4 485 678 A (FANUELE FRANK) 4 December 1984 (1984-12-04) column 5, line 57 - column 6, line 9 figure 2 | 1-3, 5, 10-12, 14, 19-23 |
| A | US 5 210 704 A (HUSSEINY ABDO A) 11 May 1993 (1993-05-11) figures 19, 20 | 4, 7, 13, 16, 24 |
| A | EP 1 148 320 A (NAT INSTR CORP) 24 October 2001 (2001-10-24) page 5, line 46 - line 53 | 10, 19 |
| A | US 6 289 735 B1 (DISTER CARL J ET AL) 18 September 2001 (2001-09-18) figure 3 | 1, 10, 19 |

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

Z document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 August 2003

Date of mailing of the international search report

28/08/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Swartjes, H.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/US 02/36796

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---------------------|----------------------------|-----------------------------|
| US 4485678 | A | 04-12-1984 | NONE |
| US 5210704 | A | 11-05-1993 | NONE |
| EP 1148320 | A | 24-10-2001 | US 6332116 B1 18-12-2001 |
| | | | US 6366862 B1 02-04-2002 |
| | | | EP 1148320 A2 24-10-2001 |
| | | | US 2002183948 A1 05-12-2002 |
| | | | US 6324487 B1 27-11-2001 |
| | | | US 2002046006 A1 18-04-2002 |
| | | | US 2002052714 A1 02-05-2002 |
| US 6289735 | B1 | 18-09-2001 | NONE |

フロントページの続き

(72)発明者 ゴットワルト・ジェームズ

アメリカ合衆国 ニューハンプシャー州, アマースト, エッジウッド・ラン, 1 8

F ターム(参考) 2G064 AA15 AB02 CC46 CC57 DD15

2G087 AA04 BB04 CC15 EE21 FF23

【要約の続き】

づいている。