

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5833677号  
(P5833677)

(45) 発行日 平成27年12月16日(2015.12.16)

(24) 登録日 平成27年11月6日(2015.11.6)

(51) Int.Cl.

G O 1 H 9/00 (2006.01)

F 1

G O 1 H 9/00

E

請求項の数 18 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2013-553486 (P2013-553486)  
 (86) (22) 出願日 平成24年2月7日 (2012.2.7)  
 (65) 公表番号 特表2014-505262 (P2014-505262A)  
 (43) 公表日 平成26年2月27日 (2014.2.27)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2012/024081  
 (87) 國際公開番号 WO2012/109197  
 (87) 國際公開日 平成24年8月16日 (2012.8.16)  
 審査請求日 平成26年1月17日 (2014.1.17)  
 (31) 優先権主張番号 13/024,496  
 (32) 優先日 平成23年2月10日 (2011.2.10)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 599078705  
 シーメンス エナジー インコーポレイテッド  
 アメリカ合衆国 32826-2399  
 フロリダ オーランド アラファヤ トレインル 4400  
 (74) 代理人 100075166  
 弁理士 山口 嶽  
 (74) 代理人 100133167  
 弁理士 山本 浩  
 (72) 発明者 ハンフリーズ、ベンジャミン ティー  
 アメリカ合衆国 32817 フロリダ、  
 オーランド、レイク シャープ コート  
 9282

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】振動センサの状態監視方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

機械における振動センサの状態を監視する方法であって、前記振動センサは、質量スプリングシステムにより伸縮する、ファイバプラックグレーティングを備えた光ファイバを用いて構成してあり、前記機械の振動を前記振動センサで受け、該振動センサにより、前記機械の振動を表すデータと前記振動センサの固有周波数を表すデータとを同時に含むセンサデータを出力し、当該振動センサから出力されたセンサデータを監視し、前記振動センサの固有周波数を表すデータにおける少なくとも前記固有周波数のピークの変化又は前記固有周波数の周波数包絡線の変化に基づいて前記振動センサに対する注意を喚起する、ことを含む方法。

## 【請求項 2】

前記注意喚起した振動センサを点検することをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 3】

前記振動センサの点検は、前記機械から当該振動センサを取り外し、該取り外した振動センサを他の振動センサに交換することを含む、請求項 2 に記載の方法。

## 【請求項 4】

前記機械が発電機であり、該発電機のステータバーに前記振動センサを取り付け、前記

発電機の前記ステータバーの振動を前記振動センサで受ける、請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

**【請求項 5】**

前記振動センサの受ける振動の大部分が、前記振動センサの固有周波数より低い周波数を含む、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の方法。

**【請求項 6】**

前記振動センサの受ける振動の大部分が 250 Hz 以下の周波数を含み且つ前記振動センサの固有周波数が 400 Hz 以上である、請求項 5 に記載の方法。

**【請求項 7】**

前記振動センサの受ける振動が、前記振動センサの固有周波数より低い調波周波数を含む、請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の方法。 10

**【請求項 8】**

前記振動センサから出力されたセンサデータを監視する際に、当該振動センサから出力されるセンサデータをリアルタイムで監視することを含む、請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の方法。

**【請求項 9】**

前記振動センサの固有周波数のピークが少なくとも 5 Hz 増加するか又は減少する場合に、前記振動センサに対する注意を喚起する、請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の方法。 10

**【請求項 10】**

前記振動センサの固有周波数の周波数包絡線がなだらか又は急峻になる場合に、前記振動センサに対する注意を喚起する、請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の方法。

**【請求項 11】**

前記監視の対象である振動が予定の振動範囲からはずれる場合に、前記機械の少なくとも 1 つの運転パラメータを変更することをさらに含む、請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の方法。

**【請求項 12】**

前記振動センサの固有周波数は、前記機械内で起こる振動から独立している、請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の方法。

**【請求項 13】**

発電機の振動を受ける少なくとも 1 つの振動センサと、該振動センサから出力されるセンサデータを監視するプロセッサと、を備え、 30

前記振動センサは、質量スプリングシステムにより伸縮する、ファイバプラッググレーティングを備えた光ファイバを用いて構成され、当振動センサの受けた振動を表すデータと、当振動センサの固有周波数を表すデータと、を同時に含むセンサデータを出力し、

前記プロセッサは、前記固有周波数を表すデータにおける少なくとも前記固有周波数のピーク又は前記固有周波数の周波数包絡線が変化した前記振動センサに対する注意を喚起するように構成されている、

発電機を監視するシステム。

**【請求項 14】**

前記振動センサは、前記発電機のステータバーに取り付けられて当該ステータバーの振動を受ける、請求項 13 に記載のシステム。

**【請求項 15】**

前記振動センサの受ける振動の大部分が、該振動センサの固有周波数より低い周波数を含む、請求項 13 又は請求項 14 に記載のシステム。

**【請求項 16】**

前記振動センサの受ける振動の大部分が 250 Hz 以下の周波数を含み且つ前記振動センサの固有周波数が 400 Hz 以上である、請求項 15 に記載のシステム。

**【請求項 17】**

前記振動センサの受ける振動が、該振動センサの固有周波数より低い調波周波数を含む 50

、請求項13～16のいずれか1項に記載のシステム。

【請求項18】

前記プロセッサは、前記振動センサの固有周波数のピークが少なくとも5Hz増加するか又は減少する場合、及び、前記振動センサの固有周波数の周波数包絡線がなだらか又は急峻になる場合、の少なくともいずれかの場合に、前記振動センサに対する注意を喚起する、請求項13～17のいずれか1項に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、振動センサの状態監視、より詳しくは、固有周波数のリアルタイム監視による、発電機内の振動センサの状態監視に関する。 10

【背景技術】

【0002】

発電分野で使用される発電機は、ベース体、特に、積層ステータコア又はロータ体のスロットに圧入された多数の導体又はステータバーを有したステータ巻線を含む。このような発電機は大変高価で長期投資となる。その故障は、発電設備そのものを危うくするのみならず、修理に伴う停止期間中の深刻なサービス低下をも招き得る。

【0003】

そのような状況を回避すべく、欠陥を早期に発見するために診断システムが開発されている。発電機内が超高電圧なので、発電機用診断システムは、通常、高電圧構造に置かれた場合に接地へのアーク放電を誘起し得る導電配線を使用しないセンサテクノロジを使用する。例えば、発電機内で検知信号は、グラスファイバなどの光導体により伝送される。 20

【発明の概要】

【0004】

本発明の第一の態様によれば、機械における振動センサの状態を関するための方法が提案される。振動センサは、質量スプリングシステムにより伸縮する、ファイバプラググレーティングを備えた光ファイバを用いて構成してあり、当振動センサで機械の振動を受ける。この振動センサによりセンサデータを出力する。該センサデータは、機械の振動を表すデータと振動センサの固有周波数を表すデータとを同時に含んでいる。振動センサから出力されたセンサデータを監視し、振動センサの固有周波数を表すデータの変化、すなわち、少なくとも固有周波数のピークの変化又は固有周波数の周波数包絡線の変化に基づいて、振動センサに対する注意を喚起する。 30

【0005】

本発明の第二の態様によれば、発電機を監視するシステムが提案される。このシステムは、少なくとも1つの振動センサとプロセッサとを備える。振動センサは、質量スプリングシステムにより伸縮する、ファイバプラググレーティングを備えた光ファイバを用いて構成され、発電機の振動を受け、当振動センサが受けた振動を表すデータと当振動センサの固有周波数を表すデータとを同時に含むセンサデータを出力する。プロセッサは、該振動センサから出力されるセンサデータを監視し、その固有周波数を表すデータが変化している、すなわち、少なくとも固有周波数のピーク又は固有周波数の周波数包絡線が変化している振動センサに対する注意を喚起するように構成される。 40

【図面の簡単な説明】

【0006】

本願は、本発明を具体的に示し明確に請求する特許請求の範囲を含むが、次の図面を伴う以下の説明により、本発明をより良く理解できるであろうと考える。図中、同様の要素は同様の参照符号で示す。

【図1】本発明の一実施形態に係る振動センサを設けた発電機のステータコアの一部を示す斜視図。

【図2】図1に示した振動センサの内部の拡大斜視図。

【図3】図2に示した振動センサの要部の拡大斜視図。 50

【図4】図2に示した振動センサの分解斜視図。

【図5】本発明の一実施形態に係る振動センサの発電機運転中の出力例を示すグラフ。

【図6】本発明の一実施形態に係る振動センサの発電機運転中の出力例を示すグラフ。

【図7】本発明の一実施形態に係る振動センサの発電機運転中の出力例を示すグラフ。

【図8】本発明の一実施形態に係る振動センサの発電機運転中の出力例を示すグラフ。

【図9】本発明の一実施形態に係る振動センサの発電機運転中の出力例を示すグラフ。

【図10】本発明の一実施形態に係る複数の振動センサを含むセンサシステムの概略図。

【図11】本発明に係る振動センサで使用するメンブレンディスクの代替例の側面図。

【図12】本発明に係る振動センサで使用するメンブレンディスクの代替例の側面図。

【発明を実施するための形態】

10

【0007】

次に記載する好適な実施形態の詳細説明において、本発明を実施する特定の形態を、限定の目的ではなくて、例示の目的で示す図面を参照する。本発明の思想及び範囲を逸脱することなく、他の実施形態も可能であるし、変更もなし得ることは当然である。

【0008】

図1を参照すると、発電機用ステータ10の一部が図示してあり、放射状に延設されたスロット16を画定する多数のステータティース（固定子歯）14を備えたステータコア12が含まれている。ステータコア12は、各スロット16に配置された1以上のステータバー20を含むステータコイル18を備える。図示の実施形態においては、一対のステータバー20が、各スロット16内に積み重ねた状態で配置されている。ステータバー20は、接地壁絶縁を形成する絶縁層（図示せず）で包んでおくことができる。

20

【0009】

バー20は保持機構24によりその位置を維持可能とされる。保持機構24は、スロット16においてステータバー20の内側のものよりも半径方向内方に位置した、トップスロットフィルタ26などの1以上のフィルタ部材とトップリップル（波形）スプリング28とを備える。保持機構24はさらに、トップリップルスプリング28よりも半径方向内方に配置してスロット16に組み入れたくさび30を備え、予め決められた締め付け力でスロット16内にステータバー20を押さえ込み、ステータコア12に対するバー20の変動をほぼ制限する。ステータバー20の対の位置は保持機構24によりほぼ維持されるが、それでもステータバー20の多少の曲げ変動が発電機内振動に伴い発生し、バー20の素材中にストレスをもたらす。

30

【0010】

追加して図2を参照すると、本発明の一実施形態に係る振動センサ50が、ステータバーの中の所定のバー20'に、図1に示すごとく該選択ステータスバー20'の端部20Aにおいて取り付けられる。ただし、ステータコア12のその他のステータバー20がさらに振動センサ50を含んでいてもよい。また、振動センサ50は、選択ステータセンサ20'に、例えば上部20Bや側部20C（図1参照）といった端部20A以外の場所で取り付けられていてもよい。

【0011】

本発明によれば、選択ステータバー20'の振動及び振動センサ50の状況、すなわち構造的状況、が振動センサ50により提供される信号を介して監視される。つまり、振動センサ50がセンサデータを含んだ信号を生成し、ここに説明するように、本発明の実施形態に従って、センサデータの監視により選択ステータバー20'の振動が判断され、また振動センサ50の状況も判断される。振動センサ50により提供される信号は、ほぼ周期的に変化する値の動的測定信号を含み、ステータバー20内のストレスレベルを表し得る。特に、この測定信号は、選択ステータバー20'の端部20Aに関し、一度の識別で速度のデータを提供し、二度の識別で加速度のデータを提供する、変位信号を含む。

40

【0012】

図2～図4を参照すると、振動センサ50は、ここに説明する振動センサ50の内部部品を収容したハウジング52（図2及び図4）を備える。図3には振動センサ50の要部

50

のみを示し、該要部をより明確に図示してその機能を効果的に説明し易くしてある。

#### 【0013】

振動センサ50は、光ファイバ導体(FOC)58に形成した屈折率格子により画定される光ファイバプラッググレーティング(FBG)54(図3及び図4参照)を備えた光ファイバセンサを含む。FBG54の屈折率格子は、予め決められた間隔で形成され、FOC58を通る光を、格子特有の中心プラッグ波長<sub>0</sub>を含む予め決められた波長で反射する。FOC58は、例えば既存のプラッググレーティングセンサにおいて使用されている光ファイバなど、FBG54のどちらかの側に力をかけると伸張及び短縮し得る、弾性的に変形可能な材料を用いて形成される。以下に詳しく説明するように、FOC58は、該FOC58も接続されるフレームに対して変位する変位可能質量体に、接続される。選択ステータバー20'の振動に対応した、フレームに対する該質量体の変位は、FOC58の周期的な弹性伸張及び短縮を招き、その結果、FBG54から反射される光の測定波長<sub>0</sub>が、中心プラッグ波長<sub>0</sub>に対して周期的に変化する。FBG54から反射される光の測定波長<sub>0</sub>の周期的变化は、周知の方法で監視されて処理され、選択ステータバー20'の領域における発電機の状況が調べられる。10

#### 【0014】

広帯域光源などの光照射源56がカプラ60でFOC58と連結され、振動センサ50に光を照射する(図2～図4参照)。光照射源56は、振動センサ50の中心プラッグ波長<sub>0</sub>の反射応答に対応して予め決められた範囲の光波長(又は周波数)を提供する。ここに説明するように、振動センサ50からの反射光は、FOC58を伝って戻り、カプラ60を介してプロセッサ62又はスペクトルアナライザで受光される。20

#### 【0015】

図2を参照すると、FOC58は、ハウジング52の壁に形成された孔64を通ってハウジング52へに入る。図3に示すように、FOC58の第1部分58Aは、振動センサ50のアンカー(錨)部材66を貫通するボア66Aを通り延伸する。FOC58の第1部分58Aは、例えば、ボア66A内でアンカーボア66にFOC58の第1部分58Aを接着剤接合やセメンティングするなどによる適切な付着処理を使用して、ボア66A内の第1位置L<sub>1</sub>(図3参照)でアンカーボア66に固着させてある。アンカーボア66は、アンカープレート構造体68に形成されている孔68Aを通って延伸し、コアサポート70へ螺着される(図4参照)。アンカープレート構造体68は、該アンカープレート構造体68の脚69の溝69Aとアンカーボア66との間ににおけるFOC58の湾曲部を画定するためと、FOC58の第1部分58Aの位置を維持するために、使用される。アンカープレート構造体68は、複数のボルト72でコアサポート70へ取り付けられ、コアサポート70は、複数のボルト74でハウジング52の下側部品52Aへ連結される(図2参照)。コアサポート70は、ハウジング52の下側部品52A内において、アンカープレート構造体68、アンカーボア66、及び第1位置L<sub>1</sub>にあるFOC58の第1部分58Aを構造的に支持し、これらの部品をハウジング52に対し固定とする。30

#### 【0016】

図4に示すように、アンカーボア66の螺合端部66Bは、コアサポート70を貫通する螺合孔70Aへ螺合する。FOC58は、アンカーボア66Bでボア66Aから出て延伸し、ここに説明するポインター(指標)部材80を通り延伸するボア80Aへ受け入れられる(図3参照)。アンカーボア66とポインター部材80との間に延びるFOC58の第2部分58Bが伸張及び短縮させられ、ここに、上述のFBG54を有するFOC58の検知部分が含まれる。40

#### 【0017】

図4に示すように、ポインター部材80の螺合第1端部80Bは、第1質量体82の螺合孔82Aへ螺合して該第1質量体82を支持する。ポインター部材80の螺合第2端部80Cは、第2質量体84の螺合孔84Aへ螺合して該第2質量体84を支持する。第1及び第2質量体82, 84のそれぞれは本発明の一実施形態によれば20～30グラムの重さであるが、質量体82, 84は、振動センサ50及び該センサを用いる発電機の構成50

に応じたその他の重さであってよい。質量体 8 2 , 8 4 に関するさらなる詳細がここに説明される。

#### 【 0 0 1 8 】

F O C 5 8 の第 3 部分 5 8 C ( 図 3 参照 ) は、例えば、ボア 8 0 A 内でポインター部材 8 0 に F O C 5 8 の第 3 部分 5 8 C を接着剤接合やセメンティングするなどによる適切な付着処理を使用して、ボア 8 0 A 内の第 2 位置 L<sub>2</sub> でポインター部材 8 0 の第 2 端部 8 0 C に固着させてある。ここに説明するように、第 2 位置 L<sub>2</sub> にある F O C 5 8 の第 3 部分 5 8 C は、ハウジング 5 2 に対し可動である。

#### 【 0 0 1 9 】

図 2 ~ 図 4 を参照すると、メンブレンスプリングアセンブリ 9 0 がポインター部材 8 0 とつながっている。図 4 に最も明示されているように、メンブレンスプリングアセンブリ 9 0 は、第 1 メンブレンストッパ 9 2 、第 1 高さディスク 9 4 、メンブレンディスク 9 6 、第 2 高さディスク 9 8 、及び第 2 メンブレンストッパ 1 0 0 を備える。メンブレンスプリングアセンブリ 9 0 のこれらの部品は、好ましくは、ステンレス鋼により形成し、複数のボルト 1 0 2 で互いに連結する。

#### 【 0 0 2 0 】

ボルト 1 0 2 はスペーサ部材 1 0 4 のねじ穴 1 0 4 A へ締め込まれ、メンブレンスプリングアセンブリ 9 0 をスペーサ部材 1 0 4 へ連結する ( 図 2 及び図 4 参照 ) 。スペーサ部材 1 0 4 は、複数のボルト 1 0 5 でコアサポート 7 0 へ連結される。コアサポート 7 0 及びスペーサ部材 1 0 4 により質量スプリングサポート構造体 1 0 7 が構成され、メンブレンディスク 9 6 の外周縁部分がハウジング 5 2 へ事実上連結される。したがって、メンブレンディスク 9 6 の外周縁部分は選択ステータバー 2 0 ' へ事実上連結される。すなわち、メンブレンディスク 9 6 の外周縁部分は、コアサポート 7 0 によってハウジング 5 2 内で構造的に支持され、ハウジング 5 2 及び選択ステータバー 2 0 ' に対し固定とされる。スペーサ部材 1 0 4 がメンブレンスプリングアセンブリ 9 0 とコアサポート 7 0 との好適な間隔を維持するために設けられるが、メンブレンディスク 9 6 は、ここに説明するように、発電機運転中、振動センサ 5 0 に伝わる振動に応じて、振動センサ 5 0 の中心軸 C A ( 図 2 参照 ) の方向において少量撓む。

#### 【 0 0 2 1 】

図 3 及び図 4 に示すように、第 1 及び第 2 ナット 1 0 6 , 1 0 8 が第 1 及び第 2 質量体 8 2 , 8 4 のそれとメンブレンディスク 9 6 との間に位置する。これら質量体 8 2 , 8 4 及びナット 1 0 6 , 1 0 8 は、それらの間にメンブレンディスク 9 6 を事実上挟持し、メンブレンディスク 9 6 の可動 ( 対ハウジング 5 2 ) 中央部分を、中央部分の各側へのナット 1 0 6 , 1 0 8 の螺着を通じて、ポインター部材 8 0 へ連結する。ポインター部材 8 0 は、第 2 位置 L<sub>2</sub> においてポインター部材 8 0 のボア 8 0 A 内に F O C 5 8 の第 3 部分 5 8 C が結合されていることにより、F B G 5 4 を含む F O C 5 8 の第 2 部分 5 8 B と、事実上接続されている。したがって、メンブレンディスク 9 6 の中央部分は、F B G 5 4 を含む F O C 5 8 の第 2 部分 5 8 B と事実上連結され、選択ステータバー 2 0 ' の振動性変動及び振動センサ 5 0 とメンブレンディスク 9 6 の外周縁部分の対応する変動が、F B G 5 4 を含む F O C 5 8 の第 2 部分 5 8 B を変位させる。すなわち、メンブレンディスク 9 6 の中央部分と第 1 及び第 2 質量体 8 2 , 8 4 とは互いに対し固定である一方、ハウジング 5 2 に対しては可動であり、質量スプリングシステム 1 1 0 ( 図 2 参照 ) を形成する。質量スプリングシステム 1 1 0 は質量スプリングサポート構造体 1 0 7 へ支持され、選択ステータバー 2 0 ' からハウジング 5 2 へ伝わる振動により生じるメンブレンディスク 9 6 の中央部分の撓み変動が、ここに説明するように、F B G 5 4 を含む F O C 5 8 の第 2 部分 5 8 B の対応する伸張及び短縮を発生させる。

#### 【 0 0 2 2 】

メンブレンディスク 9 6 の互いに反対側に配置された第 1 及び第 2 高さディスク 9 4 , 9 8 は、それぞれ中央孔 9 4 A , 9 8 A ( 図 4 参照 ) を画定するリング状部材からなる。第 1 及び第 2 高さディスク 9 4 , 9 8 は、メンブレンディスク 9 6 の中央部分振動性変動

10

20

30

40

50

を減衰させ、メンブレンディスク 9 6 の最大変位撓みを制限し、これにより F O C 5 8 の第 2 部分 5 8 B の伸張量及び短縮量を制限して F O C 5 8 の損壊を防止する。詳細には、第 1 高さディスク 9 4 は、センサ 5 0 の放射状で内向きの方向、すなわちセンサ 5 0 の中心軸方向 C A と平行な方向、のメンブレンディスク 9 6 の外周縁部分の変動を規制することにより、メンブレンディスク 9 6 の中央部分の最大変位撓みを制限し、F O C 5 8 の第 2 部分 5 8 B の短縮量を事実上制限する。同様に、第 2 高さディスク 9 8 は、放射状で外向きの方向のメンブレンディスク 9 6 の外周縁部分の変動を規制することにより、メンブレンディスク 9 6 の中央部分の最大変位撓みを制限し、F O C 5 8 の第 2 部分 5 8 B の伸張量を事実上制限する。なお、高さディスク 9 4 , 9 8 の孔 9 4 A , 9 8 A のサイズを変更することで、当該高さディスク 9 4 , 9 8 により提供されるメンブレンディスク 9 6 の中央部分振動性変動に対する減衰量を調節することができる。10

#### 【 0 0 2 3 】

第 1 及び第 2 メンブレンストッパ 9 2 , 1 0 0 もまた、メンブレンディスク 9 6 の最大変位撓みを制限し、これにより、F O C 5 8 の第 2 部分 5 8 B の伸張量及び短縮量が制限され、F O C 5 8 の損壊が防止される。詳細には、第 1 メンブレンストッパ 9 2 が、メンブレンディスク 9 6 の中央部分と接触する物理的停止部位として機能し、放射状で内向きの方向のメンブレンディスク 9 6 の中央部分の変動が規制されて、F O C 5 8 の第 2 部分 5 8 B の短縮量が事実上制限される。同様に、第 2 メンブレンストッパ 1 0 0 が、メンブレンディスク 9 6 の中央部分と接触する物理的停止部位として機能し、放射状で外向きの方向のメンブレンディスク 9 6 の中央部分変動が規制されて、F O C 5 8 の第 2 部分 5 8 B の伸張量が事実上制限される。20

#### 【 0 0 2 4 】

なお、メンブレンストッパ 9 2 , 1 0 0 の孔 9 2 A , 1 0 0 A ( 図 4 参照 ) のサイズ及び高さディスク 9 4 , 9 8 の厚みの一方又は両方を変更することで、メンブレンストッパ 9 2 , 1 0 0 により提供されるメンブレンディスク 9 6 の中央部分振動性変動の制限を調節することができる。また、メンブレンディスク 9 6 の外周縁部分はハウジング 5 2 に対し固定であり且つメンブレンディスク 9 6 の中央部分はハウジング 5 2 に対し可動であるが、センサ 5 0 としては、メンブレンディスク 9 6 の外周縁部分がハウジング 5 2 に対し可動且つメンブレンディスク 9 6 の中央部分がハウジング 5 2 に対し固定とする構成とすることも可能である。すなわち、第 1 及び第 2 高さディスク 9 4 , 9 8 がその間にメンブレンディスク 9 6 の中央部分を挟持し、外周縁部分が放射状で撓むことを許容する。このような構成において、メンブレンディスク 9 6 の外周部分、あるいは少なくともその一部が、直接的又は間接的に、F O C 5 8 の第 2 部分 5 8 B へ構造的に連結される。30

#### 【 0 0 2 5 】

さらに、メンブレンストッパ 9 2 , 1 0 0 の孔 9 2 A , 1 0 0 A のサイズは本実施形態においては固定であるが、当該孔 9 2 A , 1 0 0 A のサイズは、発電機運転中に手動又は自動でアジャストしてメンブレンディスク 9 6 の最大変位撓みを変化させられるように、可変とすることもできる。これは、いわゆる当業者には自明であるように、カメラの絞り機構のような方式で実施可能である。

#### 【 0 0 2 6 】

本実施形態の場合、第 1 及び第 2 メンブレンストッパ 9 2 , 1 0 0 は、高さディスク 9 4 , 9 8 とは別部品としてある。しかしながら、高さディスク 9 4 , 9 8 は、各メンブレンストッパ 9 2 , 1 0 0 と一体として、すなわちストップ部品として形成することもできる。

#### 【 0 0 2 7 】

発電機運転中、選択ステータバー 2 0 ' の端部 2 0 A に対するセンサハウジング 5 2 の取り付け部を経て、ステータバー 2 0 ' の振動（振動性変動）がセンサハウジング 5 2 の対応する振動性変動を引き起こす。センサハウジング 5 2 の振動性変動は、センサハウジング 5 2 の下側部品 5 2 A にコアサポート 7 0 が連結されているので、質量スプリングサポート構造体 1 0 7 へ伝達される。メンブレンディスク 9 6 の外周縁部分が質量スプリン50

グサポート構造体 107 へ固着しているので、ハウジング 52 の振動性変動は、メンブレンディスク 96 の外周縁部分へ伝達される。メンブレンディスク 96 の中央部分においては、質量体 82, 84 の慣性がメンブレンディスク 96 の中央部分の変動に事実上抵抗し、固定であるメンブレンディスク 96 の外周縁部分に伝達された振動性変動に応じてメンブレンディスク 96 を撓ませる。したがって、メンブレンディスク 96 は、選択ステータバー 20' の駆動周波数に応じた周波数で振動し得る。

#### 【0028】

F O C 58 の第 3 部分 58C がポインター部材 80、すなわち第 2 位置 L<sub>2</sub>、を通じてメンブレンディスク 96 の中央部分と連結され、そして、F O C 58 の第 1 部分 58A がアンカー部材 66、すなわち第 1 位置 L<sub>1</sub>、を通じてサポート 70 と連結されているので、質量スプリングサポート構造体 107 によりメンブレンディスク 96 へ伝達される振動による、メンブレンディスク 96 の中央部分の変位は、F O C 58 の第 2 部分 58B の対応する伸張及び短縮を、選択ステータバー 20' における振動の周波数に対応する周波数で、引き起こす。なお、好ましくは、F O C 58 は、予め緊張させた状態でアンカー部材 66 及びポインター部材 80 に取り付ける。この場合、メンブレンディスク 96 に伝達される振動性変動は、F O C 58 のさらなる伸張と短縮をもたらす。このF O C 58 の伸張及び短縮は非常に小さく、すなわち、マイクロメーターのオーダーである。巨視的（肉眼的）スケールでみると、メンブレンディスク 96 の変動及び対応するF O C 58 の変動はほとんど感知できないが、その結果生じるF B G 54 の伸張及び短縮は、F B G 54 により反射される波長 に検知可能な変化を引き起こす。反射波長 の変化は、ハウジング 52 の振動性変動により生じるメンブレンディスク 96 の変位に直接関係する、F O C 58 の伸張及び短縮の大きさの直接測定値である。この方法により、メンブレンディスク 96 の撓み変動を、選択ステータバー 20' の端部 20A の振動に関連した変位を判断するために、測定して使用し得る。

#### 【0029】

F B G 54 で生成された反射波長 の形式でのデータは、F O C 58 を通り、カプラ 60 を経てプロセッサ 62 へ伝送される。プロセッサ 62 は、データすなわち波長 の変化を時間軸で処理し、データに関わる加速度を判断する。さらに、プロセッサ 62 は、時間に伴う波長変化に基づいて変化の周波数を判断する。とりわけ、選択ステータバー 20' 上のセンサ 50 の変位及び加速度の一方又は両方に対応したデータの受信に加え、プロセッサ 62 は、データを処理して、注目すべき周波数を、その周波数での変位及び加速度の一方又は両方の大きさを含めて、識別する。このような注目すべき周波数の一つが、メンブレンディスク 96 及び質量体 82, 84 により形成される質量スプリングシステム 110 の固有周波数に相当する。

#### 【0030】

既存の加速度計センサの設計の場合、質量スプリングシステムは、その固有周波数が、センサにより監視すべきシステムにおける振動周波数と実質的に異なっているように設計することが望まれる。殊に、既存のセンサ設計においては、センサの固有周波数が測定対象のシステムの周波数よりも実質的に高くなるように設計することが、常識である。センサの固有周波数と監視すべきシステムで収集されるデータの周波数との間に実質的差異を設定することで、センサからの固有周波数入力に関連した歪みが収集データにおけるノイズとして干渉する可能性はまずない。

#### 【0031】

本発明の一つの側面によると、センサ 50 の質量スプリングシステム 110 の固有周波数は、監視すべきシステムの駆動周波数に比較的近いものに設計される。特に、システムが高感度をもつよう設計されると、センサ 50 の質量スプリングシステム 110 の固有周波数を低める結果となる。例えば、監視周波数の大部分が典型的には約 250 Hz 以下の調波（高調波）周波数を含む発電機の場合、センサ 50 の設計は、約 400 Hz 以上、例えば約 410 Hz の固有周波数を含み得る。しかし、振動センサ 50 の設計は、その固有周波数を、他の監視すべき周波数をもつ他のシステムでの使用に合わせるように、改変

10

20

30

40

50

することができる。例えば、第1及び第2質量体82, 84の重さ及び高さディスク94, 98の中央孔94A, 98Aのサイズの一方又は両方を、振動センサ50の固有周波数を事実上変更すべく変えることができる。さらに、センサ50の感度は、メンブレンディスク96の厚さ、直径、及び硬さの少なくともいずれかを変更することによりチューニングすることができる。

#### 【0032】

システムの振動を表す、すなわち、選択ステータバー20'で生成される振動性変位に対応するデータと、振動センサ50の固有周波数を表すデータとを含む、振動センサ50から出力されるセンサデータは、FOC58によってカプラ60を通りプロセッサ62へ伝送される。このデータは、リアルタイムでプロセッサ62により監視される。メンブレンディスク96の変位の変化に対応するセンサデータは、振幅(変位)測定値を得るために使用され、センサ50の固有周波数と共にセンサ50の振動が得られる。10

#### 【0033】

センサデータを高速フーリエ変換(FFT)で処理した後の、正常運転状況における振動センサ50の周波数の典型的な出力スペクトルを示したグラフを、図5に示す。メンブレンディスク96で測定される、選択ステータバー20'の振動は、符号 $F_v$ でグラフ中に示されている。 $F_{v1}$ 及び $F_{v2}$ は、振動 $F_v$ の調波である。振動センサ50の固有周波数は、符号 $F_N$ でグラフ中に示されている。なお、振動センサ50の固有周波数は、発電機内で起こる振動から独立している。すなわち、センサ50の固有周波数 $F_N$ の逸脱は、ほぼ選択ステータバー20'の測定振動 $F_v$ の逸脱に影響しない又は逸脱を引き起こしたりしないし、その逆もまた同様である。上述のように、振動センサ50により検知される振動の大部分は、振動センサの固有周波数より低い調波周波数を含む。すなわち、上述の具体例においては、振動センサ50により検知される振動の大部分は250Hz以下の調波周波数を含む一方、例示した振動センサの固有周波数は約410Hzである。20

#### 【0034】

プロセッサ62は、センサデータを監視し、発電機部品にダメージを与える振動を見張る。監視振動 $F_v$ が予定の振幅範囲又は周波数範囲から外れていると判断される場合、少なくとも1つのシステム運転パラメータを変更して発電機に起こっている振動を変えることができる。例えば、発電機の負荷を減らしたり、発電機冷却用のガス又は水の温度を変えたりすることが可能である。30

#### 【0035】

また、プロセッサ62は、振動センサ50の固有周波数 $F_N$ を表すデータの変化、例えば、振動センサ50におけるクラックなどの構造的ダメージを示す変化、を見張る。すなわち、本実施形態によれば、振動センサ50の固有周波数包絡線のピークがおよそ410Hzである。この値が、例えば少なくとも5Hz程度の予め決めた量だけ410Hzから外れる場合、振動センサ50は構造的ダメージを示しており、修理又は交換が必要である。したがって、振動センサ50の固有周波数のピークが少なくとも5Hzほど410Hzから外れる、すなわち、図6に示すように低くなる、あるいは、図7に示すように高くなる場合、振動センサ50の修理や交換のために注意が喚起される。この他の要因も、振動センサ50の注意喚起に対する引き金として使用し得る。例えば、振動センサ50の固有周波数の周波数包絡線が図8と図9にそれぞれ示すようになだらかになったり急峻になったりする場合である。なお、図6～図9中に示す点線は、図5に示す正常な運転状況における振動センサ50の周波数包絡線を表し、図6～図9において振動センサ50の周波数逸脱を説明するために提供されている。40

#### 【0036】

振動センサ50に注意が喚起されると、選択ステータバー20'から取り外して点検し、例えば、修理や交換が行われる。そして、新しい振動センサ(あるいは修理した振動センサ50)が選択ステータバー20'に配設される。

#### 【0037】

振動センサ50の状況は選択ステータバー20'の振動と同時に監視されるので、振動50

センサ 5 0 のいかなるダメージも、早い段階で検出することができ、振動センサ 5 0 に対する物理的点検不要で実行することができる。さらに、振動センサ 5 0 の固有周波数  $F_N$  を表すデータは、選択ステータバー 2 0 ' の振動  $F_V$  を表すデータと同時に F O C 5 8 を通し本質的に伝送されるので、振動センサ 5 0 の状況を監視するための専用機器が不要である。

#### 【 0 0 3 8 】

図 1 0 を参照すると、発電機 2 0 1 の運転状況を監視するシステム 2 0 0 が示されている。このシステム 2 0 0 は、上述の振動センサ 5 0 などの振動センサを少なくとも 1 つ含むが、好ましくは、多数の振動センサ 5 0 a ~ f を備え、該振動センサ 5 0 a ~ f のそれ 10 ぞれが、上述のような対応するステータバーへ取り付けられている。

#### 【 0 0 3 9 】

システム 2 0 0 の各振動センサ 5 0 a ~ f は、プロセッサ 2 0 2、例えばプラントデータ取得システムと通信し、センサデータを送信する。そのセンサデータは、上述のように、対応する振動センサ 5 0 a ~ f に伝わる振動を表すデータと対応する振動センサ 5 0 a ~ f の固有周波数を表すデータとを含んでいる。さらに、システム 2 0 0 の各振動センサ 5 0 a ~ f は、個々のセンサ 5 0 a ~ f に対応した固有の中心プラック波長  $\lambda_0$  をもつ固有の F B G 5 4 a ~ f を有する。広帯域光源などの光照射源 5 6 が、振動センサ 5 0 a ~ f まで延伸する多数の F O C 5 8 a ~ f に接続され、振動センサ 5 0 a ~ f へ光を放射する。広帯域光源は、センサ 5 0 a ~ f の F B G 5 4 a ~ f により提供される反射波長に対応した範囲の光を供給する。プロセッサ 2 0 2 20 は、センサ 5 0 a ~ f の F B G 5 4 a ~ f からそれぞれ反射される固有の波長範囲に基づいて、センサ 5 0 a ~ f から受信されるデータの発信源を同定し得る。

#### 【 0 0 4 0 】

プロセッサ 2 0 2 30 は、振動センサ 5 0 a ~ f のそれぞれに対応するセンサデータを取得する。その監視センサデータが、予定範囲から外れた振動の発生を示している場合、発電機 2 0 1 の 1 以上の運転状況が変更されてその中で生じている振動が変えられる。さらに、上述したように、監視センサデータが、振動センサ 5 0 a ~ f のいずれかの固有周波数が正常周波数から外れている、例えば、低くなっているか又は高くなっていることを示す場合、あるいは、周波数包絡線がなだらか又は急峻になっている場合、当該振動センサ 5 0 の修理又は交換のための注意が喚起される。

#### 【 0 0 4 1 】

図 1 1 及び図 1 2 を参照すると、本発明の他の実施形態に係る振動センサ用のメンブレンディスク 3 0 0 , 4 0 0 が示されている。図 1 1 に示すメンブレンディスク 3 0 0 は、概略円形であり、その外周縁の切り欠き又はその他の切除による丸め又は湾曲凹部 3 0 2 , 3 0 4 , 3 0 6 , 3 0 8 を有する。すなわち、凹部 3 0 2 , 3 0 4 , 3 0 6 , 3 0 8 は外周縁から半径方向内方へ延設されている。図 1 2 に示すメンブレンディスク 4 0 0 は、概略円形であり、その外周縁の切り欠き又はその他の切除による、より広範囲の双曲線状凹部 4 0 2 , 4 0 4 , 4 0 6 , 4 0 8 を有する。すなわち、凹部 4 0 2 , 4 0 4 , 4 0 6 , 4 0 8 は外周縁から半径方向内方へ延設されている。凹部 3 0 2 ~ 3 0 8 及び凹部 4 0 2 ~ 4 0 8 の切り欠きにより、メンブレンディスク 3 0 0 , 4 0 0 はより撓み易くなり、メンブレンディスク 3 0 0 , 4 0 0 の固有周波数が低くなる。また、当該メンブレンディスク 3 0 0 , 4 0 0 はそり易いので、各振動センサが取り付けられるステータバーの振動 40 におけるより小さな振幅変化に応じてメンブレンディスク 3 0 0 , 4 0 0 が容易に撓み、センサがより高感度になる。加えて、図 1 2 の実施形態の場合、メンブレンディスク 4 0 0 から材料を切り欠いた凹部 4 0 2 ~ 4 0 8 を画定する双曲線状が、決められた設計基準に準拠するメンブレンディスク 4 0 0 のチューニングを可能にすると期待される。さらに、切り欠き凹部 4 0 2 ~ 4 0 8 の双曲線状は、メンブレンディスク 4 0 0 の構造的ストレスを大幅に低くし、ディスク 4 0 0 にクラックが入る可能性を低くする。

#### 【 0 0 4 2 】

ここに説明したセンサデータの監視は、振動センサ 5 0 の使用に関連させて説明してき 50

たが、本発明のシステム及び方法は、センサの固有周波数を表すデータを含んだ出力を提供するいずれのセンサでも実行し得る。さらに、発電機内状況が監視されるとしてここに説明しているが、他のタイプのシステムでも、ここに説明するシステム及び方法を使用して監視可能である。すなわち、ここに説明したシステム及び方法は、発電機内状況の監視に限定するように意図されてはいない。

## 【0043】

本発明の特定の実施形態について図示し説明してきたが、当業者であれば、本発明の思想及び範囲を逸脱することなくその他様々な交換や変更をなし得ることは自明である。したがって、本発明の範囲内にあるそれら交換や変更の全ては特許請求の範囲に含まれるものと意図されている。

10

## 【符号の説明】

## 【0044】

10 ステータ

12 ステータコア

14 ステータティース

16 スロット

18 ステータコイル

20 ステータバー

20' 選択ステータバー

24 保持機構

20

26 トップスロットフィルタ

28 トップリップルスプリング

30 くさび

50, 50a ~ 50f 振動センサ

52 ハウジング

52A 下側部品

52B 上側部品

54, 54a ~ 54f ファイバプラッググレーティング (FBG)

56 光照射源 (光源)

58, 58a ~ 58f 光ファイバ導体 (FOC)

30

58A 第1部分

58B 第2部分

58C 第3部分

60 カブラ

62 プロセッサ

64 孔

66 アンカー部材

66A ポア

66B 融合端部

68 アンカープレート構造体

40

69 脚

69A 溝

70 コアサポート

72 ボルト

74 ボルト

80 ポインター部材

80A ポア

80B 第1端部

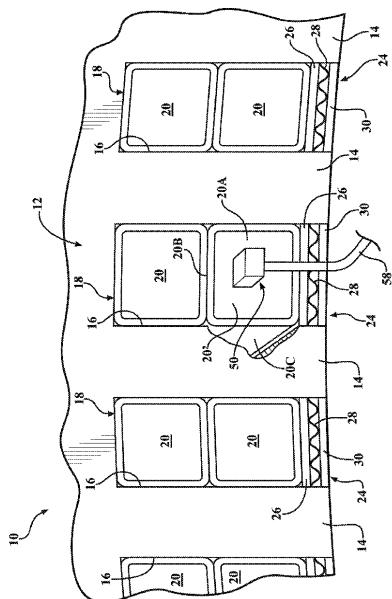
80C 第2端部

82 第1質量体

50

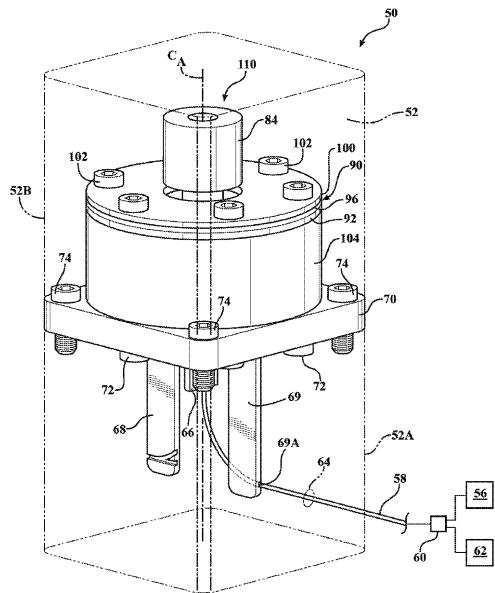
8 2 A	螺合孔
8 4	第2質量体
8 4 A	螺合孔
9 0	メンブレンスプリングアセンブリ
9 2	第1メンブレンストッパ
9 2 A	孔
9 4	第1高さディスク
9 4 A	中央孔
9 6	メンブレンディスク
9 8	第2高さディスク
9 8 A	中央孔
1 0 0	第2メンブレンストッパ
1 0 0 A	孔
1 0 2	ボルト
1 0 4	スペーサ部材
1 0 4 A	ねじ穴
1 0 5	ボルト
1 0 6	第1ナット
1 0 7	質量スプリングサポート構造体
1 0 8	第2ナット
2 0 0	システム
2 0 1	発電機
2 0 2	プロセッサ
3 0 0	メンブレンディスク
3 0 2 , 3 0 4 , 3 0 6 , 3 0 8	凹部
4 0 0	メンブレンディスク
4 0 2 , 4 0 4 , 4 0 6 , 4 0 8	凹部
L <sub>1</sub>	第1位置
L <sub>2</sub>	第2位置

【 図 1 】



1  
FIG

【 図 2 】



**FIG. 2**

【図3】

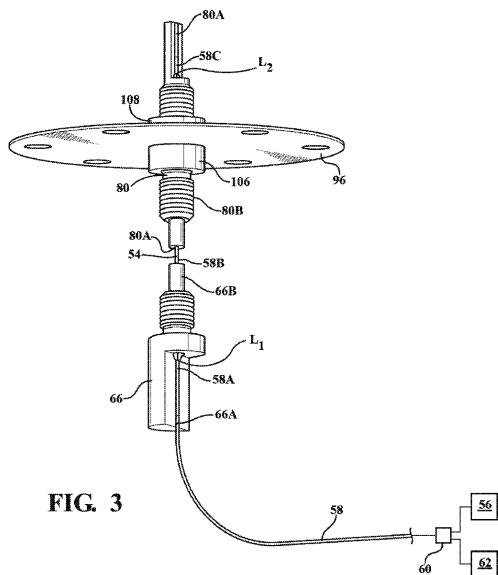
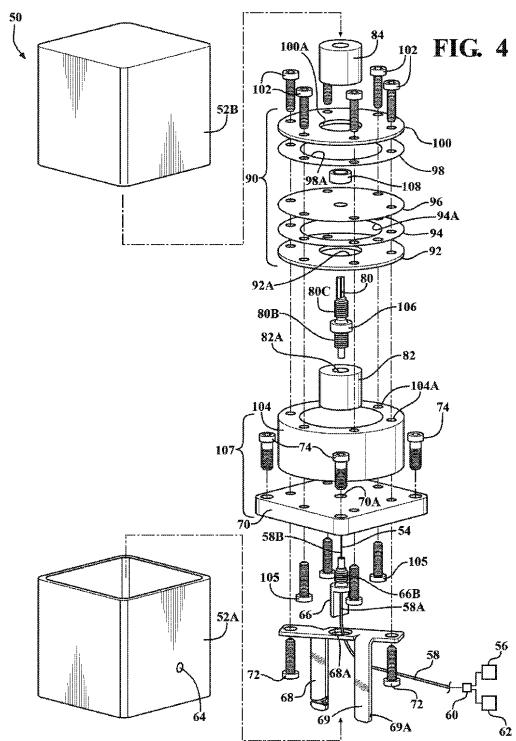
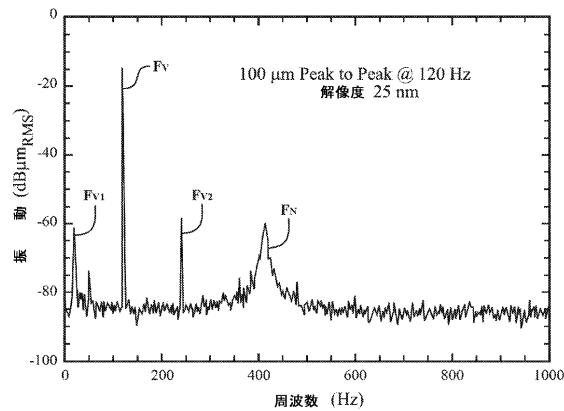


FIG. 3

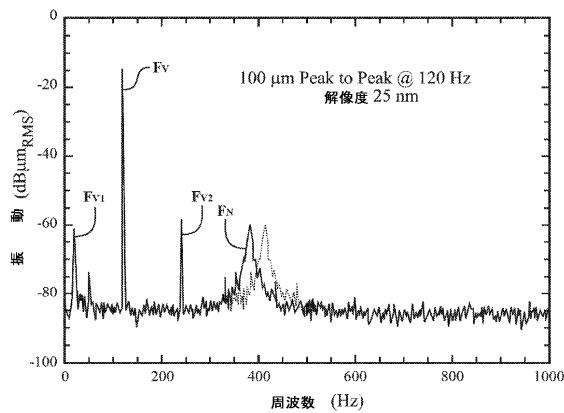
【図4】



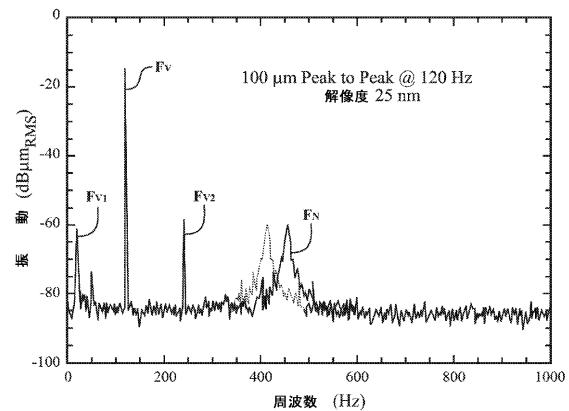
【図 5】



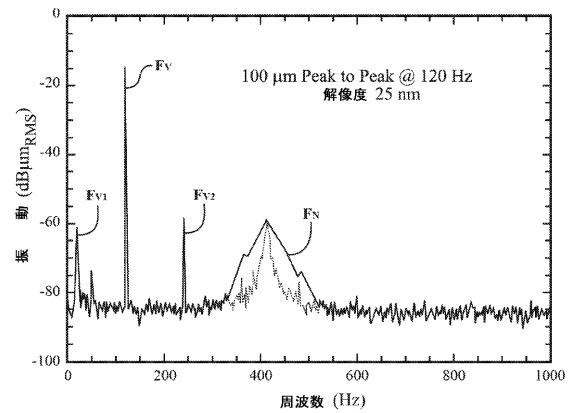
【図 6】



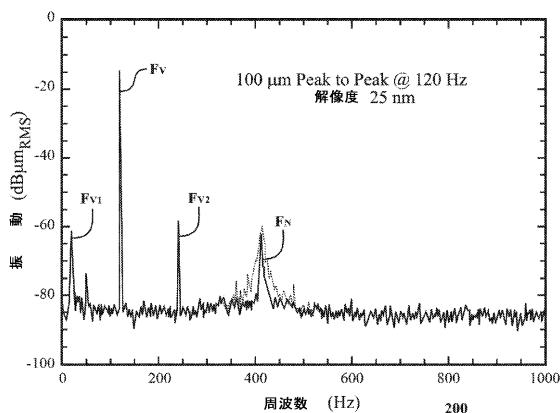
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【図 10】

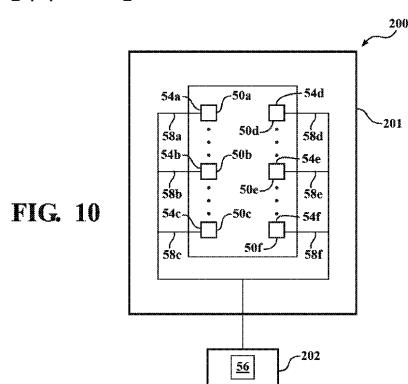
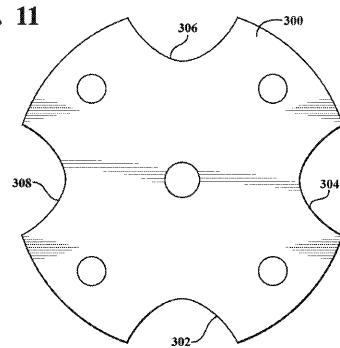
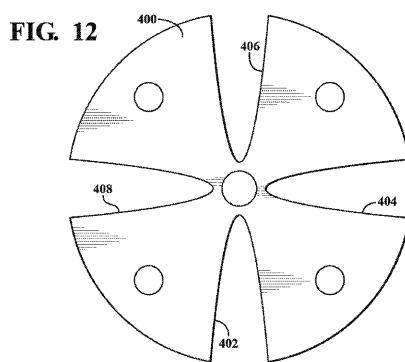


FIG. 10

【図 11】



【図 12】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 ディアツィキス、エヴァンジェロス ヴィ  
アメリカ合衆国 32766 フロリダ、チュルオータ、オスプレイ レイクス サークル 35  
3
- (72)発明者 トウワードクリブ、マイケル  
アメリカ合衆国 32765 フロリダ、オヴィエド、ウッドクレスト ウェイ 877
- (72)発明者 ラウ、ジェイムズ エフ  
アメリカ合衆国 32825 フロリダ、オーランド、サウス ディアウッド アヴェニュー 6  
15
- (72)発明者 トンプソン、エドワード ディー  
アメリカ合衆国 32707 フロリダ、キャッセルベリー、サウス トリプレット レイク ド  
ライヴ 550

審査官 田中 秀直

- (56)参考文献 特開2009-236596 (JP, A)  
特開平07-049265 (JP, A)  
特開2006-258614 (JP, A)  
特開2010-164447 (JP, A)  
特開2010-256352 (JP, A)  
特開平06-109580 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01H 1/00 - 17/00