

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：13904

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K18040

研究課題名(和文)大偏心を有する回転軸に適用可能な革新的気体軸受の技術確立

研究課題名(英文) Establishment of technology for innovative gas bearings applicable to rotor with large eccentricity

研究代表者

伊勢 智彦 (ISE, TOMOHIKO)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・講師

研究者番号：70514397

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、回転型加振機のような回転周波数が変化しながら連続運転するような条件下で使用できる気体軸受の技術を確立するものである。回転周波数に合わせて給気圧力を制御することによって、常に軸振動低減効果が発揮することを実証すること目的に実験を行った。その結果、周波数変調の周期が遅い条件と速いでは、回転周波数範囲での軸振動低減効果は変化することが分かった。また、軸受給気システムの周波数応答を測定し、各周波数での特性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to establish a technology for gas bearings that can be used under the operating conditions that operate continuously while changing the rotation frequency likes a rotary type vibration exciter. Experiments were conducted to demonstrate that the rotor vibration reduction effect is always exhibited by controlling the gas supply pressure according to the rotation frequency. As a result, it was found that the rotor vibration reduction effect in the rotational frequency range changes when the frequency modulation cycle is fast and fast. In addition, the frequency response of the rotor bearing system was measured, and the characteristics at each frequency were clarified.

研究分野：工学

キーワード：軸振動 気体軸受 回転周波数 圧力制御

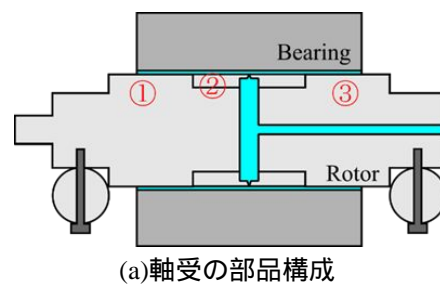
1. 研究開始当初の背景

地球科学分野では、回転型の振動発生機を地中に設置し、人工的な地震波を発生させ、多数の地震計で波の変化を測定することによって、火山などの地殻構造探査が行われている。同様の手法で、中東地域では油田や水資源の探査が行われている。装置は回転軸の偏心（アンバランス）によって生ずる遠心力を加振源として利用している。このため、通常の機械よりも軸受損失が大きくなり、地中で熱が発生する。これを除去するため、現在は装置とは別の冷却システムを付加している。申請者はこれまで、この問題を解決するひとつの方法として、非接触支持が可能で、損失が小さく、冷却も可能な気体軸受を使用した構造を提案し、その可能性を検討してきた。過去の研究において、従来の気体軸受構造で大偏心回転軸の試験を行ったところ、回転周波数の増加とともに軸受すきま内の軸振幅が増加したため、実用周波数では軸と軸受が接触し、破損する危険性が高かった。そこで偏心方向に給気孔を多く配置し、さらに軸側から給気する新しい方式の軸受構造を考案した。この性能を解析し、予備試験した結果、軸振幅は20Hzで0.005mmと従来軸受に比べ1/3に低減でき、軸と軸受の接触による損傷の危険性が減り、実用回転周波数域での運転安全性が大幅に向上することが分かった。本研究では、予備試験で得られた考案軸受の特徴を活かして、実機で使用されている10～30Hzの回転周波数域で変化しながら連続運転するような条件下で、軸受給気圧力を制御することによって、常に軸振動低減効果が発揮されること実証することを目指す。従前の気体軸受に関する研究では、回転軸のアンバランスが小さい高速回転機械（例えば小型ガスタービン発電機）を対象とするものが多く、清浄な環境で使用される機械に対するものも見られた。本研究は大偏心回転軸に対する利用を目指すもので、その技術確立に挑戦するものである。本研究では回転型加振機を具体例にしているが、本技術を確立できれば、粉碎機等の偏心回転軸を有する産業機械への波及効果も期待される。

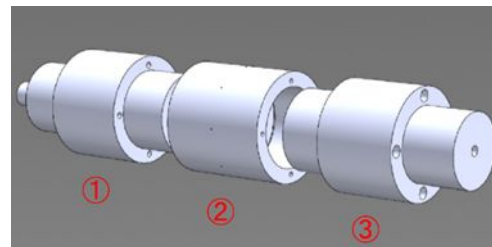
2. 研究の目的

気体軸受は回転軸を非接触で支持可能だが、負荷容量が小さいため、軸のアンバランスが小さい高速回転機械に対して研究が行われてきた。この軸受を大偏心回転軸にも適用できれば、これまで使用できなかった機械のメンテナンス性向上と長寿命化が期待できる。本研究ではその具体例として、地殻構造探査用の回転型加振機に用いる高性能気体軸受の技術確立を目的とする。気体の給気孔を非対称に配置した新軸受構造を用い、大偏心回転軸が実機のような回転周波数範囲で連続的に変化しながら運転するような条件下でも、軸受給気圧力を制御することによって、常に軸振動低減効果が発揮されること

を明らかにする。本研究が達成できれば、産業機器にも使用でき、適用範囲が大幅に拡大する。図1に本研究で使用する軸受構造、表1に主要寸法を示す。部品①は円筒形状であり、給気孔が部品①の円周上に設けられている。両端から部品②にボルトで締結することで、軸が構成される。部品①と部品②にはタップ穴が設けられており、これに偏心質量をボルト締結することにより軸にアンバランスを与える。部品②には貫通穴が設けられており、貫通穴入口にはタップが設けられている。このタップにロータリジョイントの配管用継手を取り付けることができ、軸に給気することができる。①には軸受を構成するための給気孔が加工してあるが、上記偏心質量が取り付けられる方向に多く、その逆方向には少なく設置した。



(a)軸受の部品構成



(b)軸受の内部構造

図1 考案した軸受の構成

表1 試作した軸受の主要寸法

軸受直径	60 mm
軸受長さ	120 mm
軸受半径すきま	0.05 mm
給気孔直径	0.6 mm

3. 研究の方法

本研究では、回転軸の周波数が周期的に変化する運転条件において、考案した気体軸受の給気圧力を制御することによって、常に軸振動低減効果が発揮されること実証することを目指す。これを達成するために、下の項目を実施した。

(1)大偏心回転軸の回転周波数と軸振幅が0になる給気圧力の関係を数値解析し、試験軸受がどの回転数範囲で運転可能なのかを明らかにするとともに、回転数を種々変化した条件下で回転試験を行い、軸振動の振幅を測定し、解析結果の妥当性を検証した。

(2)提案手法の効果を検証するために、軸の回転周波数に応じて給気圧力を変化させ

て軸受に給気する制御システムとその実験装置を構築し、軸振動データを取得した。

(3) 回転周波数の変調周期が変化した場合の軸振動低減効果について応答特性を計測した。

本研究の実施にあたり、図2のような回転試験機を試作した。

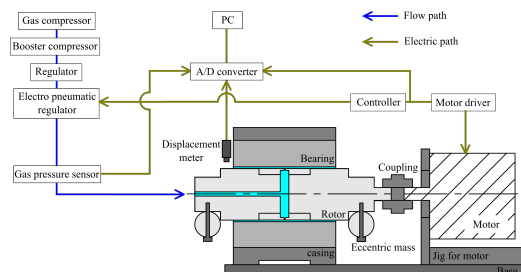


図2 回転試験装置および測定系統図

4. 研究成果

3. 研究の方法で述べた三項目について得られた成果は以下のとおりである。

(1) 大偏心回転軸を支持するために提案した気体軸受特性の数値解析を行い、軸振幅の予測値を計算した。比較のために従来型軸受についても解析した。また両方の軸受を用い、回転周波数を種々変更して軸振動の振幅を測定した。

図3は従来型軸受にける解析および実験結果を示したものである。どの軸受給気圧力条件においても、回転周波数が増加すると軸振幅は単調増加した。図4は提案した新型軸受の解析および実験結果である。回転周波数が小さい場合、軸振幅は大きい、回転周波数の増加とともに軸振幅は減少した。これは軸受の給気孔が非対称に配置されていることにより、回転軸に取り付けられた偏心質量の回転によって発生する遠心力が小さい場合は、気体圧力の非対称性が大きくなり回転軸の偏心率大きくなるためである。ある回転周波数になると、軸受の気体膜反力と遠心力が一致し、回転軸の偏心率が0になり軸振幅が最小となる。さらに回転周波数が大きくなると、気体膜反力よりも遠心力が大きくなり、偏心率が再び大きくなるため軸振幅も増加した。気体膜反力は軸受給気圧力によって変化するため、同図のように軸振幅が0になる周波数も変化する。以上より、提案する気体軸受は、特定の回転周波数で軸振幅が最小となることが明らかになった。そしてその回転周波数は、給気圧力が増加すると高くなることが明らかになった。すなわち、提案した軸受は、給気圧力を任意に選択できる場合、同図の色付きで示した回転周波数範囲で軸振動の振幅を0にできる。

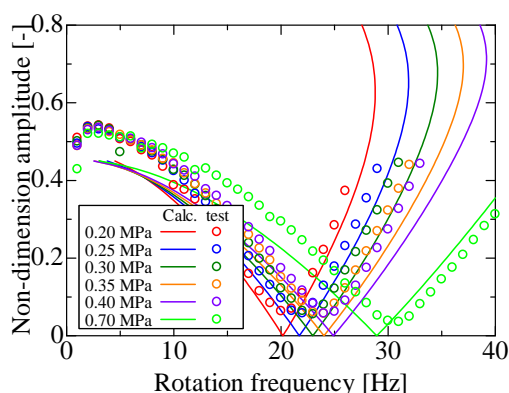


図3 従来型軸受における軸振動の変化

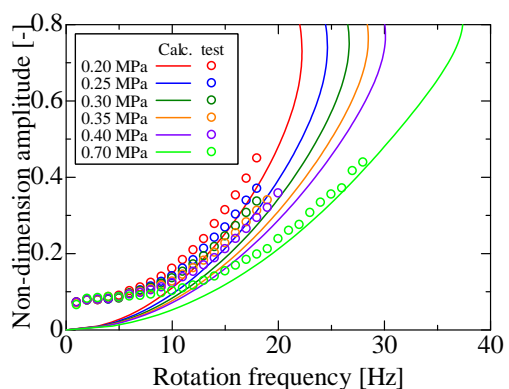


図4 提案軸受における軸振動の変化

(2) 上記(1)では図4に示すように、給気圧力を任意に選択できる場合、同図の色付きで示した回転周波数範囲で軸振動の振幅を0にできることを示した。この効果を検証するために、軸の回転周波数に応じて給気圧力を変化させて軸受に給気する制御システムとその実験装置を構築し、軸振動データを取得した。図4の色付きで示した回転周波数範囲で変調を行うが、その周期は10sec, 0.5secの2条件で行った。試験はまず、給気圧力を一定(0.7 MPa)の状態にして回転させる。そして任意の時間が経過した後、給気圧力を回転周波数に応じて制御する。給気圧力制御の前後における軸振動の振幅を測定した。図5, 6に試験結果を示す。図5は変調周期10secにおける軸振動振幅、回転周波数、給気圧力の時刻歴、図6は変調周期0.5secにおける同様の時刻歴である。給気圧力が一定の状態では、回転周波数変調による軸振幅の増減が確認された。給気圧力制御の状態では、変調周期10sec(図5)の条件では、給気圧力制御をすることにより、常に軸振動を大幅に低減することができた。しかし変調周期0.5sec(図6)の条件では、給気圧力制御による軸振動低減効果を十分に得ることができなかった。これは、システムの周波数応答性能が影響していると考えられる。

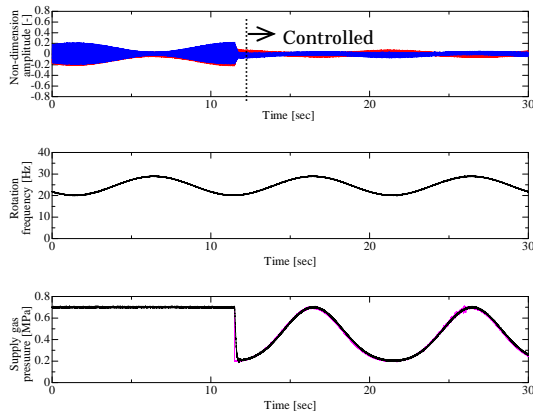


図5 変調周期 10 sec

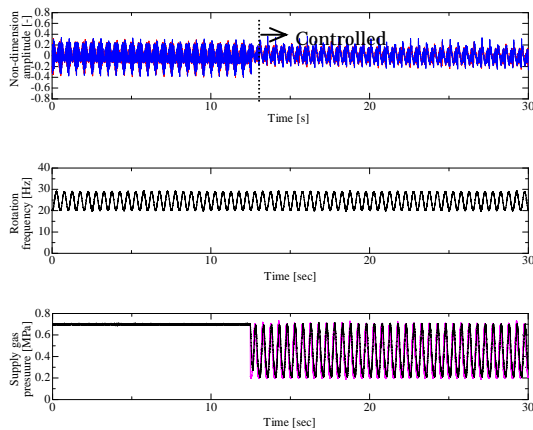


図6 変調周期 0.5sec

(3) 周波数変調の周期によって軸振動振幅の低減効果に変化したことから、本研究で構築した軸受給気システムの周波数応答を測定した。結果を図7に示す。変調周期 10 sec に該当する周波数 0.1 Hz の応答性能は、利得、位相ともに低下は見られないが、変調周期 0.5 sec (周波数 2 Hz) の応答性能は、利得、位相差ともに周波数 0.1 Hz に比べ大きいことが確認できる。従って、周波数応答性能は軸振動低減効果に影響すると考えられる。

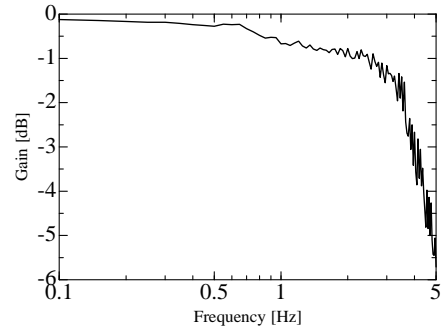
5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

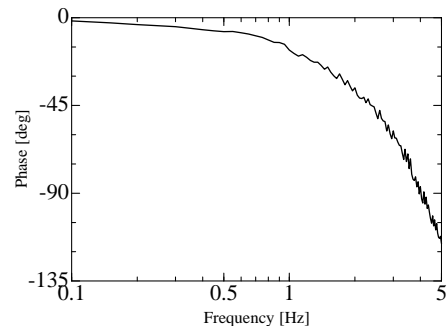
[雑誌論文](計0件)
該当なし

[学会発表](計5件)

伊勢智彦, 大崎光祥, 松原真己, 河村庄造, アンバランスを有する回転軸から給気する静圧ジャーナル気体軸受(配管長さが軸振動低減効果に及ぼす影響), 日本機械学会東海支部第 67 期総会・講演会, 2018.



(a) 利得曲線



(b) 位相曲線

図7 周波数応答

Tomohiko Ise, Mitsuyoshi Osaki, Masami Matsubara and Shozo Kawamura, Rotor Vibration Reduction Supported by Externally Pressurized Gas Journal Bearing with Asymmetrically Arranged Gas Supply (Experiments of the Various Types of Frequency Modulation), 17th Asian Pacific Vibration Conference (招待講演), 2017.

伊勢智彦, 大崎光祥, 松原真己, 河村庄造, アンバランス回転軸から給気する気体軸受の軸振動低減(給気孔の非対称性と軸振動低減範囲の検証), 日本機械学会機械力学・計測制御部門講演会 Dynamics and Design Conference 2017.

伊勢智彦, 大崎光祥, 松原真己, 河村庄造, アンバランスを有する回転軸から給気する気体軸受の軸振動低減, 日本機械学会東海支部第 66 期定時総会講演会, 2017.

伊勢智彦, 大崎光祥, 松原真己, 河村庄造, アンバランス回転軸を支持する気体軸受の軸振動低減(給気圧力制御状態の特性), 日本ばね学会 2016 年度秋季ばね及び復元力応用講演会, 2016.

[図書](計0件)
該当なし

[産業財産権]
出願状況(計0件)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

伊勢 智彦 (ISE, TOMOHIKO)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・講

師

研究者番号：70514397

(2)研究分担者

該当なし

(3)連携研究者

該当なし

(4)研究協力者

該当なし