

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 3 月 30 日現在

機関番号：33401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25630042

研究課題名(和文) 空気力懸垂支持方式非接触壁面走行体の研究開発

研究課題名(英文) Research and Development of Non-contacting Wall Surface Travel Body with Aerodynamic Force Suspension Support System

研究代表者

小沢 康美(OZAWA, Yasumi)

福井工業大学・工学部・教授

研究者番号：90160861

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では静圧気体軸受の軸受すきま内に生じる正圧と負圧を巧みに利用し、天井などの壁面に非接触に懸垂して移動できる従来にない「空気力懸垂支持方式の非接触壁面走行体」を研究開発している。非接触壁面走行体は円板形吸引支持スラスト気体軸受と噴流(ジェット)を利用した推進・停止機構で構成されている。ここで静圧気体軸受は走行体を壁面(天井面, 垂直壁面)に非接触懸垂させるために必要なものであり、推進・停止機構は走行体の非接触走行を可能にさせるためのものである。気体軸受および推進・停止機構の特性を明らかにし、提案する「空気力懸垂支持方式の非接触壁面走行体」が実現可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：Research and development of the traveling body which can run wall surface (ceiling and vertical wall) in the non-contacting condition has been done in this study. The non-contacting wall surface traveling body has been composed of an externally pressurized gas-lubricated thrust bearing and the jet mechanism. The non-contacting suspension support of the traveling body is carried out using the negative pressure of gas-lubricated bearing. The switching of on-off of the jet propulsion was carried out by the switching of the solenoid valve. The traveling body can be run reverse direction by the jet mechanism for the spouting direction of the jet. Characteristics of the non-contacting wall surface traveling body are investigated, and are discussed in this paper.

研究分野：トライボロジー・機械要素

キーワード：非接触壁面走行体 空気力懸垂支持 気体軸受

## 1. 研究開始当初の背景

質量のある物体は重力加速度の存在する条件下では必ず落下する。物体を非接触で支持する方法としては、(1)非接触反発支持、(2)非接触吸引支持の2通りの方法が考えられる。方法(1)の非接触反発支持は落下しようとする物体に対して気体、磁石、超音波、超伝導の力を利用して非接触に支持するものである。これらのうち、落下しようとする物体に対して物体の上面から物体を非接触で吸引支持できるのは、現状では気体の性質を利用した気体軸受だけである。静圧気体軸受では軸受すきま内に発生する正圧と負圧を利用すると物体を非接触懸垂状態で支持することが可能となる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は気体軸受の正圧と負圧を巧みに利用した従来にない「空気力懸垂支持方式の非接触壁面走行体」を研究開発することである。

## 3. 研究の方法

### (1) 非接触壁面走行体に必要な気体軸受の基本特性の解明

静圧気体スラスト軸受すきま内の気体流動の解明

非接触壁面走行体の研究開発には、まず静圧気体スラスト軸受のすきま内流動を解明して走行体を非接触支持させるために必要な圧力分布、吸引力を求める。また圧力分布と吸引力に及ぼす気体軸受の軸受諸元(給気孔径、軸受直径、給気圧力、軸受すきま)の影響についても検討する。

### 吸引力を最大とする軸受諸元の決定

非接触壁面走行体で使用する気体軸受については、できるだけ小型軽量で高い吸引力を有するものが必要となる。そこで吸引力を最大とする気体軸受の軸受諸元について求める。

### 軸受特性に及ぼす表面粗さの影響の解明

非接触壁面走行体の非接触懸垂支持力の

大きさは、壁面の表面粗さの影響を受ける。そこで壁面の表面粗さと等価な表面粗さを有する平板の場合についての特性を調べ、非接触懸垂支持力に及ぼす表面粗さの影響を明らかにする。

### (2) 非接触壁面走行体の開発

#### 走行体の製作と動作検証実験

研究開発する非接触壁面走行体は、静圧気体スラスト軸受、推進・停止用ジェットノズル、コントローラ・センサから構成される。ここで静圧気体スラスト軸受は中央に単一の自成絞り給気孔を有する円板形静圧気体スラスト軸受とする。推進・停止用ジェットノズルは空気噴流を利用したもので、推進とブレーキの両方の役割をなすものである。

摩擦が極めて小さい場合の走行・停止の制御

非接触壁面走行体は気体膜を介して壁面に非接触に懸垂するため、摩擦が極めて小さいという特長がある。そのため摩擦が極めて小さい場合における走行・停止・方向変更について調べる。

#### 騒音対策

非接触天井走行体の軸受すきま内の流速は超音速となる。そのため騒音対策については十分に検討しておく必要がある。騒音対策の方法について実験により検討する。

## 4. 研究成果

### (1) 非接触壁面走行体に必要な気体軸受の基本特性の解明

静圧気体スラスト軸受すきま内の気体流動の解明

静圧気体スラスト軸受の軸受直径  $D=60\text{mm}$ 、給気孔径  $d=1\text{mm}$ 、無次元給気圧  $P_s/P_a$  の場合の圧力分布と負荷容量を図1と図2に示す。ここで  $P_a$  は大気圧である。図1、図2において軸受すきま  $h$ 、給気孔半径  $r_0$ 、軸受半径  $R$  である。負荷容量  $W$  は圧

力分布を軸受面全体にわたって積分することや実験により求めることができる。  $W > 0$  の場合は反発支持力となり、  $W < 0$  の場合は吸引支持力となる。 圧力分布の正圧領域からは正の負荷容量である反発力が得られ、負圧領域からは負の負荷容量である吸引力が得られる。

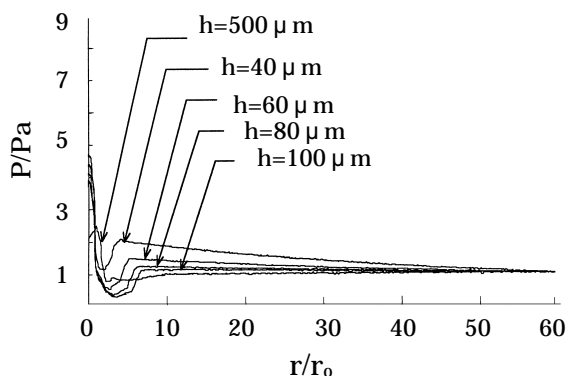


図1 圧力分布 ( $Ps/Pa=5$ )

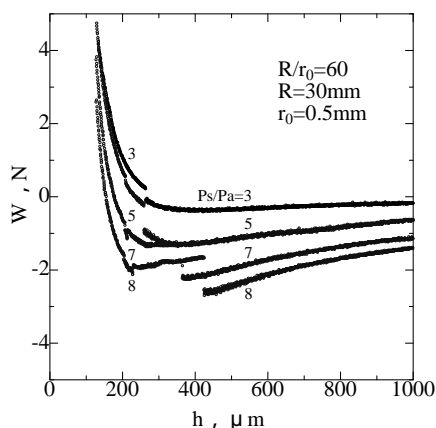


図2 負荷容量 (吸引力と反発力)

#### 吸引力を最大とする軸受諸元

非接触壁面走行体で使用する気体軸受については、できるだけ小型軽量で高い吸引力を有するものが必要となる。そこで吸引力を最大とする気体軸受の軸受諸元について求めた。図3は軸受直径  $D=30\text{mm}$  の場合の結果である。最大吸引力  $F_{\text{max}}[\text{N}]$  は給気孔直径  $d[\text{mm}]$  および無次元給気圧力  $Ps/Pa$  の増大とともに増加している。

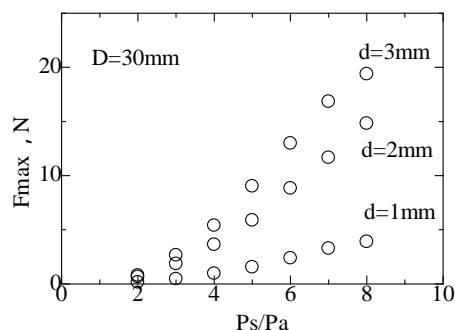


図3 最大吸引力  $F_{\text{max}}$  に及ぼす軸受諸元の影響

#### 軸受特性に及ぼす表面粗さの影響

非接触壁面走行体の非接触懸垂支持力の大きさは壁面の表面粗さの影響を受ける。図4は非接触吸引特性に及ぼす表面粗さの影響について示したものである。ここで壁面の表面粗さについては研磨紙の表面粗さで置き換えたものを使用した。表面粗さについては3次元算術平均粗さ  $Sa[\mu\text{m}]$  を採用し、レーザー顕微鏡で測定した。図4の#は研磨紙の番数を表しており、番数の小さいものほど表面粗さは粗くなる。

図4より表面粗さが大きく表面が粗い壁面ほど、非接触懸垂走行体を天井壁面に非接触懸垂させるために高い給気圧力が必要となることがわかる。

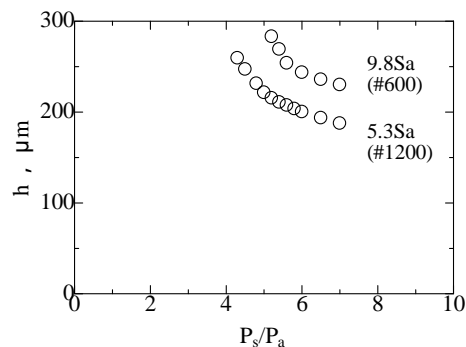


図4 非接触吸引特性に及ぼす表面粗さの影響

## (2) 非接触壁面走行体の開発

### 走行体の製作と動作検証実験

図5に示すような非接触壁面走行体を研究開発した。非接触壁面走行体は、静圧気体スラスト軸受、推進・停止用ジェットノズルから構成されている。自律型の場合にはコントローラやセンサが追加される。ここで静圧気体スラスト軸受は走行体を壁面に非接触懸垂させるために必要なものであり、ジェットノズルは推進とブレーキの両方の役割をなすものである。

静圧気体スラスト軸受により吸引力を発生させると、走行体は自重 $W_0$ と吸引力 $F$ が釣り合った軸受すきまで非接触懸垂支持される。その状態でジェットノズルにより空気を噴出して推進力を発生させると非接触懸垂走行体は非接触走行する。停止の場合には進行方向と逆向きのジェットノズルより空気を噴出してブレーキ力を発生させて停止させる。実験により天井面や垂直壁面の非接触走行が可能であることを確認した。なお、図6のような閉じた壁面の場合には、ジェットノズルから噴出された空気の一部が天井面を押しつけて吸引力を減少させる方向に働くため、それを防止する工夫が必要となる。

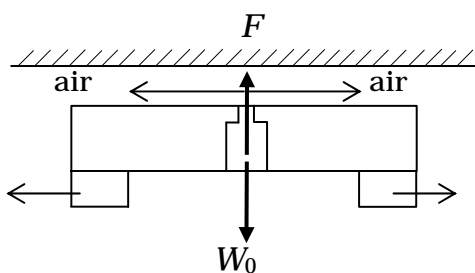


図5 非接触懸垂走行体

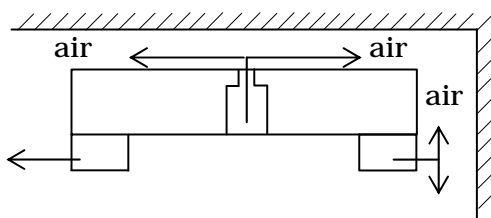


図6 閉じた壁面

### 摩擦が極めて小さい場合の走行・停止の制御

非接触壁面走行体は気体膜を介して壁面に非接触に懸垂するため、摩擦が極めて小さいという特長がある。図7は摩擦が極めて小さい場合の例として、非接触懸垂走行体がアクリル板の天井面を非接触走行する場合の走行速度を示したものである。ここで $P_j$ はジェット推進圧力である。走行体は重量3.2 Nであり、気体軸受（軸受直径30mm、給気孔直径2mm）を4個使用した。

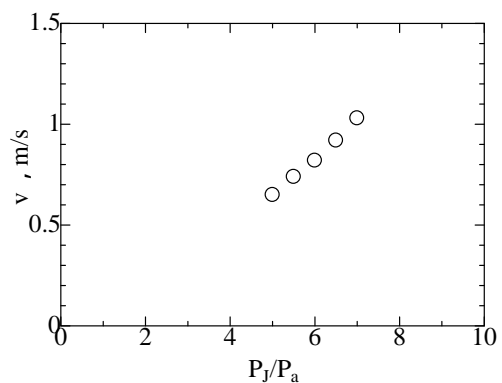


図7 天井面の走行速度

天井面に非接触懸垂して走行する走行体のブレーキと方向変換の効果を見るために一定距離1mを往復するのに要する時間を計測した。その結果を図8に示す。ここで は出発点より1m先の折り返し点まで直進し、折り返し点においてジェット推進を停止すると同時に進行方向とは逆向きにジェット推進力を発生させてブレーキをかけ、出発点まで戻した場合の時間である。 はブレーキなしで片道走行した場合の所要時間を2倍した時間である。図8より非接触懸垂走行体は方向変換やブレーキをかけることは可能であるが、ブレーキをかけても直ちに停止することはできないことがわかる。任意の位置に停止させるためには工夫が必要となる。

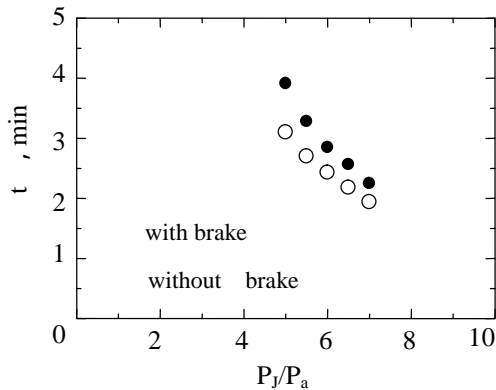


図8 ブレーキの効果

### 垂直壁面における走行特性

非接触懸垂走行が垂直壁面を非接触懸垂走行することが可能であるかの確認実験を行った。非接触走行体は1個の円板形吸引支持スラスト気体軸受(給気孔直径2mm, 重量0.32N)とジェット推進機構を有するものとした。図9にガラス製の垂直壁面を走行した場合の速度測定結果を示す。ここで $d_j$ はジェットノズルの直径である。図9より走行体は垂直壁面についても非接触懸垂走行することが可能であることを確認した。

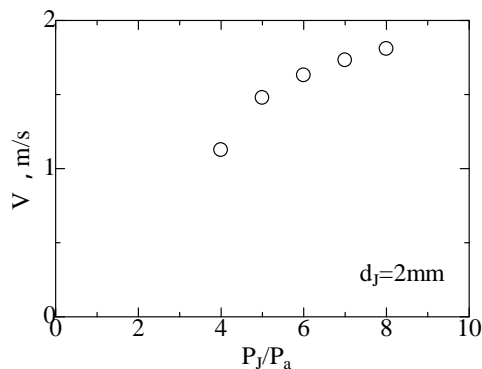


図9 垂直壁面非接触懸垂走行

### 騒音対策

非接触懸垂走行体の軸受すきま内の流速は超音速となる。走行体が天井壁面に非接触懸垂した場合と懸垂しない場合の騒音を計測した。その結果、非接触懸垂時の騒音は懸垂しない場合の騒音より20dB低下し、非接触懸垂時には80dB程度であった。

## 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 件)

〔学会発表〕(計3件)

小沢康美, 静圧気体スラスト軸受の負圧を利用した非接触懸垂走行体, 日本機械学会2016年度年次大会, 2016年9月12日, 「九州大学(福岡県福岡市)」

小沢康美, 静圧気体スラスト軸受の負圧を利用した非接触懸垂移動体(非接触懸垂移動体の提案), 日本機械学会関西支部第91期定時総会講演会, 2016年3月11日, 「大阪電気通信大学(大阪府寝屋川市)」

小沢康美, 静圧気体スラスト軸受の負圧を利用した非接触懸垂走行体(原理と構造), 日本機械学会北陸信越支部第53期総会・講演会, 2016年3月5日, 「信州大学工学部(長野県長野市)」

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小沢 康美 (Ozawa Yasumi)  
福井工業大学・工学部・教授  
研究者番号：90160861

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：

(4) 研究協力者

( )