

令和元年6月24日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06152

研究課題名(和文) リニアガイドウェイのスティッキングの発生機構の解明とその低減法の提案

研究課題名(英文) Generating mechanism reduction of sticking in a linear guideway

研究代表者

太田 浩之(Ohta, Hiroyuki)

長岡技術科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：30233141

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、リニアガイドウェイのスティッキングの発生機構とその低減法を扱ったものである。まず、実験により、スティッキングは、比較的大きなローリングモーメントを負荷してリニアガイドウェイを一定時間オフセット駆動すると発生することを示した。また、スティッキング発生時には、隣接する負荷ボールが接近していることを確認した。これらの実験結果より、スティッキングの発生原因は、負荷ボール同士の接触点におけるすべり摩擦であることを示した。そして、キャリッジを変形しやすくすると、スティッキングが低減できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

リニアガイドウェイは、摩擦が小さくスティックスリップが起こらないとこれまではいわれてきた。しかし、近年における、機械の運転条件の多様化に伴って、運転中にリニアガイドウェイの摩擦が急激に増加するいわゆるスティッキングが発生することが明らかになり、その発生機構の解明と低減が産業界から強く求められてきた。

本研究は、スティッキングの研究を初めて行ったものであり、その発生機構を解明した点に学術的な意義がある。また、変形しやすいキャリッジを用いることで、スティッキングが低減できることを実証し、産業界からの要請に対応できた点に社会的な意義がある。

研究成果の概要(英文)： This research deals with the generation mechanism of the sticking (which is the significant increase in the required driving force for a linear guideway in a back-and-forth short stroke operation) of the linear guideway and the reduction method. Experimental results showed that sticking occurred when the linear bearing was under a relatively high rolling moment load and driven in an offset position. When the sticking occurred, the adjacent load balls were closer. This means that the cause of sticking was the sliding friction between adjacent load-balls in the load zone. Finally, it was demonstrated that using a carriage-body type, which is more deformable, had a tendency to reduce sticking.

研究分野：機械要素，トライボロジー，機械力学

キーワード：リニアガイドウェイ スティッキング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

リニアガイドウェイを小ストロークで往復駆動する場合、リニアガイドウェイの駆動に必要な力(駆動力)を運転開始時に比べて50%以上も大きくしなければ駆動できなくなる場合があり、産業界ではその低減が強く望まれていた。

2. 研究の目的

本研究は、リニアガイドウェイのスティッキング(リニアガイドウェイを小ストロークで往復駆動すると駆動力が増大し、駆動が困難になる現象)の発生機構を解明し、さらにスティッキング低減法を提案することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 基礎実験

初めに、図1に示す市販のリニアガイドウェイ(日本ベアリング:SEB15AY)を用いて、スティッキングの発生に関する基礎実験を行った。基礎実験では、図2に示すように、リニアガイドウェイにおもりによりローリングモーメント M_R を加えた状態で、キャリッジ上部に取り付けたアームを往復駆動した。アームの駆動位置は、オフセット位置(オフセット駆動)またはセンター位置(センター駆動)とした。

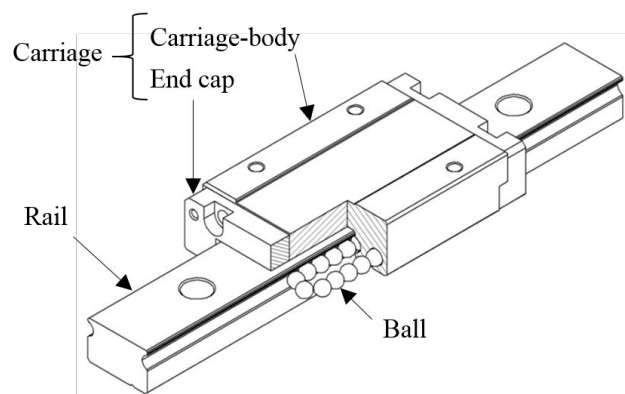


Fig. 1 Test linear guideway

リニアガイドウェイの最大直線速度は 0.05m/s、ストローク長さは 0.01m、駆動周期 T_d は 0.442s に設定した。実験では、図2中に示すようにアーム駆動位置においてロードセルにより駆動力 F_d (ロードセルに対して圧縮力が作用する場合に負、引張力が作用する場合に正の値になる)を測定した。なお、 F_d の時間波形に対して、ノイズ除去のため遮断周波数 30Hz のローパスフィルタをかけた。駆動力 F_d の増加を定量的に示すために、次式に示す駆動力 F_d の増加率 R を用いた。

$$R = \frac{F_{dpp}}{F_{dpp0}} \quad (1)$$

ここで、 F_{dpp} は測定時間(1250サイクルに相当する時間)内の F_d の P-P 値、 F_{dpp0} は運転開始時(運転開始から5サイクルに相当する時間)の F_d の P-P 値である。本研究では、便宜上、 $R \geq 1.5$ でスティッキングが発生しているとみなした。

(2)基礎実験の結果

基礎実験で得たリニアガイドウェイの駆動力 F_d の時間波形の例を図3に示す。図3(a)に示す $M_R=0\text{Nm}$ の場合には、リニアガイドウェイの駆動力 F_d の P-P 値 F_{dpp} の変化は見られないが、図3(b)の $M_R=4\text{Nm}$ の場合には、 F_{dpp} は、一定の運転時間経過後に増大する。そして、 F_d の増加率 R は 1.77 であり、スティッキングが発生したと見なせる。また、 F_d の

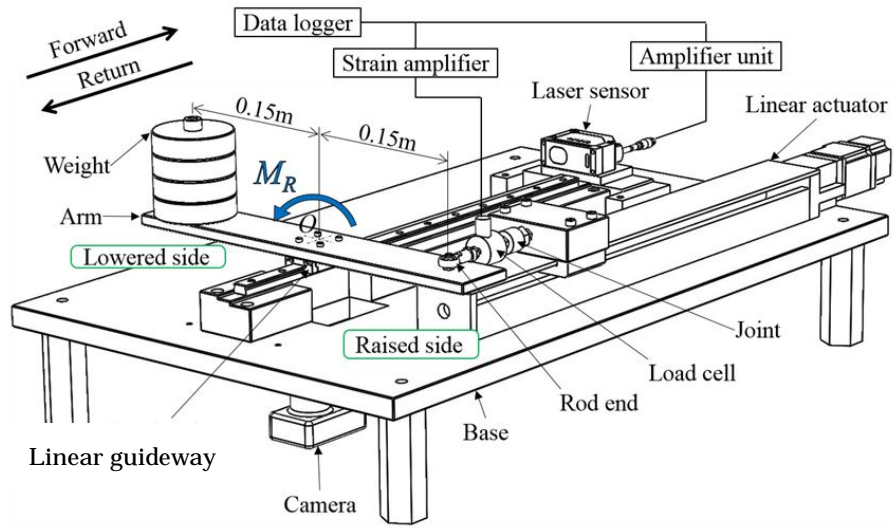


Fig. 2 Test rig

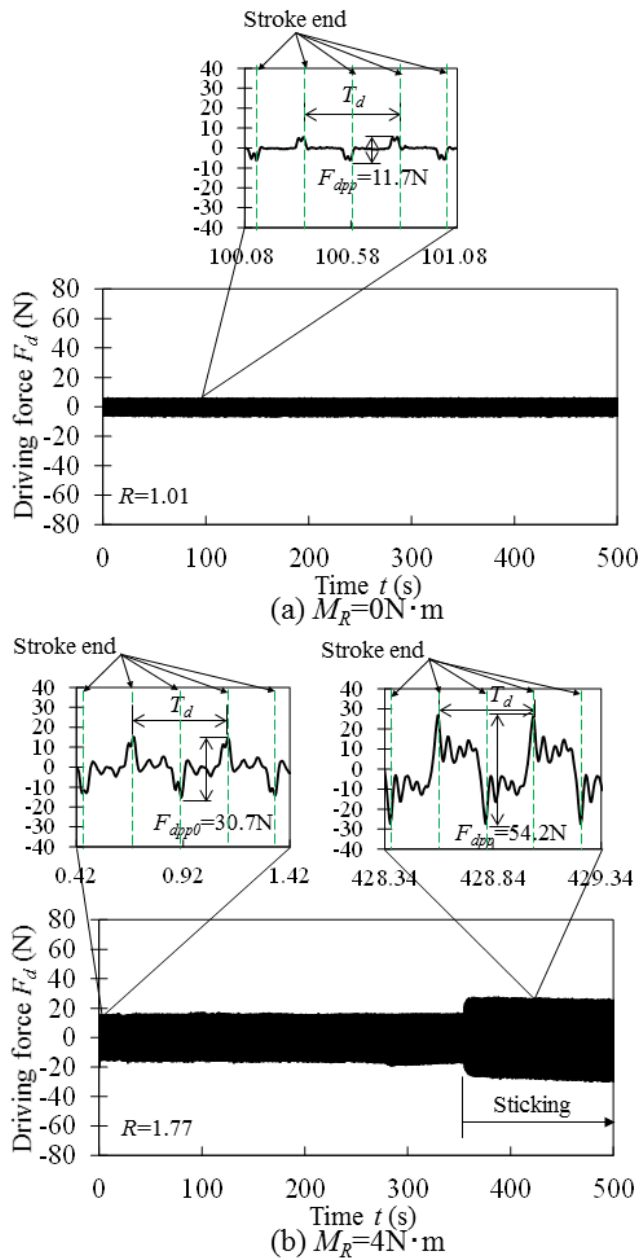


Fig. 4 Measured driving force under offset drive

Table 1 Increasing rate R

Rolling moment M_R (N·m)	0	1	2	3	4
Offset drive	1.01	1.42	1.87	1.77	1.77
Centered drive	1.00	1.18	1.22	1.12	1.09

■:Sticking occurred.

の増加率 R に及ぼす駆動位置および M_R の影響を表 1 に示す．表 1 よりわかるように，リニアガイドウェイに $M_R = 2\text{Nm}$ 以上を負荷し，オフセット駆動した場合に， F_d の増加率 R は 1.5 より大きくなり，スティッキングが発生した．一方，センター駆動の場合， R は 1.22 以下であり，スティッキングは発生しなかった．

(3) スティックの発生原因

リニアガイドウェイのスティッキングに類似した現象は，揺動運動させたボールねじで生じることが知られている．ボールねじでは，隣接する負荷ボールの接触点でボールの回転方向が反対となり，すべり摩擦が生じ，これにより摩擦トルクが急増することが明らかになっている．そして，これを防ぐには，スペーサボールの使用が効果的であることも知られている．基礎実験で使用したリニアガイドウェイ内のボールはすべて負荷ボールであるため，隣接するボール同士ですべり摩擦が生じると推定される．そこで，スティッキングの発生原因に及ぼす隣接するボール同士のすべり摩擦の影響を調べるために，負荷ボールとスペーサボールを交互に挿入したりニアガイドウェイを使用して駆動力の測定を行った．その結果，負荷ボールとスペーサボールを交互に挿入したりニアガイドウェイでは，スティッキングは発生しないことを確認した．このことから，スティッキングは隣接するボール同士の接触点でのすべり摩擦により生じることが明らかとなった．

(4) スティックの発生機構

基礎実験の結果とスティッキングの発生原因より，スティッキングの発生機構には，リニアガイドウェイ内のボールの位置が関係すると推定される．そこで，スティッキングの発生プロセスを解明するために，カメラ(図 2 参照)により負荷圏内のボールの位置変化を撮影した．その結果，運転時間が経過すると，負荷圏中央付近以外のボール同士はより接近し，ボール同士の接触点でのすべり摩擦が生じやすくなることが明らかとなった．

以上より，スティッキングは以下のような機構で発生すると考えられる．すなわち，リニアガイドウェイに比較的大きなローリングモーメントを負荷した状態でオフセット駆動すると，時間の経過にともなって，負荷圏中央以外では隣接するボール同士が接近する．その結果，ボール同士の接触点でのすべり摩擦が増加し，スティッキングを発生するに至ると考えられる．

(5) スティックの低減実験

上記のスティッキングの発生機構に基づくと，変形のしやすいキャリッジでは，隣接するボールを保持するための力が弱いために，スティッキングが起りにくいと推測された．そこで，これを確かめるために，市販のキャリッジのかわりに寸法の異なる(すなわち変形のしやすさの異なる) Type A ~ E の 5 種類のキャリッジを用いて，スティッキングの発生状況を調べることにした．なお，実験に使用したキャリッジの中では，Type A のキャリ

ッジが最も変形しにくいキャリッジであり，Type B, C, D になるにしたがって変形しやすくなり，Type D が最も変形しやすいキャリッジである．実験の結果，駆動力 F_d の増加率 R の平均値 R_{AVG} は，最も変形しにくい Type A のキャリッジが最も高く，Type B, C, D の順番で低下し，最も変形しやすい Type E で最低になることが判明した．以上より，キャリッジの寸法を変えてキャリッジを変形しやすくすると，スティッキングは発生しにくくなることが明らかとなった．

4．研究成果

- (1) スティッキングは，リニアガイドウェイに比較的大きなローリングモーメントを負荷してオフセット駆動した場合に発生する．
- (2) スティッキングの発生原因は，負荷圏内で隣接するボール同士の接触点でのすべり摩擦である．
- (3) リニアガイドウェイに比較的大きなローリングモーメントを負荷した状態でオフセット駆動すると，キャリッジの浮き上がり側において，時間の経過にともなって，隣接するボール同士が接近する．その結果，ボール同士の接触点でのすべり摩擦が増加し，スティッキングを発生する
- (4) キャリッジの寸法を変えてキャリッジを変形しやすくすると，スティッキングは発生しにくくなる．

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- (1) Hiroyuki OHTA, Genta HANAOKA, Yusuke UEKI, "Sticking of a Linear-Guideway Type Recirculating Ball Bearing", Transactions of the ASME Journal of Tribology, Vol.139, 031103, 2017.
- (2) Hiroyuki OHTA, Guillermo Andres Guajardo Dueñas, Yusuke UEKI, "Reduction of Sticking in a Linear-Guideway Type Recirculating Ball Bearing", Transactions of the ASME Journal of Tribology, Vol. 141, 022202, 2019.

〔学会発表〕(計 2 件)

- (1) 太田浩之，花岡元太，植木雄亮，日本機械学会北陸信越支部第 53 期総会・講演会講演論文集，210, 2016.
- (2) 太田浩之，Guillermo Andres Guajardo Dueñas，植木雄亮，日本機械学会北陸信越支部第 55 期総会・講演会講演論文集，G025, 2018.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：

種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

https://mcweb.nagaokaut.ac.jp/~ohta/2019/publications_ohta.html

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。