

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14577

研究課題名(和文) 3Dプリンタを利用した能動的変形機能を有するスマートサーフェスの創製と評価

研究課題名(英文) Invention of active morphing smart surface created by additive manufacturing

研究代表者

村島 基之(Murashima, Motoyuki)

名古屋大学・工学研究科・助教

研究者番号：70779389

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、表面が変形する新構造を用いた従来にない能動的摩擦制御を可能とする機能性表面の創製を目的とした。樹脂3Dプリンタにより製作された変形表面を用いた摩擦試験の結果、凹形状で摩擦係数0.3であったものを凸形状にすることで1.0まで増加させることに成功した。つまり、摩擦係数を3倍のレンジで制御可能な表面の開発に成功した。次に、潤滑油中で耐久性を有する薄肉金属を用いた変形表面を開発した。貧潤滑下摩擦試験の結果、凹形状の摩擦係数はフラット試験片の摩擦係数0.11より大きい0.17であり、凸形状ではそれよりも小さい0.03を発現するという従来実現不可能であった能動的摩擦制御が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、表面の変形により固体表面同士の接触状態を変化させることで能動的摩擦制御を達成した。変形表面にはダイヤフラム構造が利用されており、従来研究されてきたバルク材料の特性だけでなく構造による変形が接触状態に影響する。本研究はダイヤフラム構造を有する変形表面とそれと同じ表面形状のバルク材料の摩擦係数を比較した。その結果、変形表面の場合のみ貧潤滑状態で摩擦係数の低減が見られた。構造による見かけの弾性率が潤滑特性に及ぼす影響を明らかにした点に本研究の学術的重要性が見られる。また、本研究における部品の交換等が不要な摩擦制御材料の開発は、省エネ・高機能・長寿命機械の開発に大きく貢献する技術である。

研究成果の概要(英文)：This research work aims to develop a novel morphing surface which actively controls friction. The surface was manufactured using additive manufacturing with ultraviolet curing acrylic resin. The morphing surface showed a friction coefficient of 0.3 with a concave shape, whereas the coefficient increased to 1.0 when the shape changed to convex. In other word, the morphing surface we developed achieved wide range control of friction. Subsequently, we developed a metal morphing surface which was able to use in oil lubricant. In poor lubrication condition, the metal morphing surface with the concave shape showed a friction coefficient of 0.17 which was higher than that of a flat-shape specimen. When the surface shape changed to convex, the friction coefficient decreased to 0.03 which was approximately one-fourth to the coefficient of the flat-shape specimen. The results indicate the new morphing surface achieves active friction control which conventional machines are not able to realize.

研究分野：工学, 機械工学, 設計工学・機械機能要素・トライボロジー, トライボロジー

キーワード：スマートサーフェス 変形表面 能動的摩擦制御 接触 接触面積 流体潤滑 機械学習 損傷回避

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 物体と物体の接触を制御することは、学問的には摩擦や付着の制御、実学的には物体の把持などに関わる重要な研究課題である。摩擦を制御する材料として申請者らはカーボンファイバーを用いた新しいブラシ材料を開発した。この材料は摩擦におけるスティックスリップという自励振動現象の抑制効果を有するが、この効果はブラシが柔軟に変形することで発現すると考えられる。また、この材料の摩擦係数は相手面形状に合わせて変化することが明らかになっており、摩擦環境に応じて摩擦が変化する受動的摩擦制御の例である。他に受動的摩擦制御の例として申請者らは3Dプリンタを用いて内部構造を有する摩擦材料を開発した。この材料は、表面の見かけのヤング率の低減による接触面積の増大、その結果としての耐摩耗性向上を目的として開発された。3Dプリンタを用いることで製作可能となったこの材料は、受動的に摩擦・摩耗を制御する新しい材料であり学会などで非常に高い評価を得ている。

(2) 生物は能動的に形状を変化させることでどのような環境でも優れた性能を発揮する。2015年トロント大学メギット教授らは鳥の翼のように、高速飛行と低速飛行それぞれで効率的に飛行可能な形状変形するモルフォウイングを製作した。一方、形状変形を伴わない能動的な付着制御として申請者は、電場による樹脂の付着制御手法を開発した。能動的制御は、申請者が開発した電場や磁場などを用いる手法と形状を変化させる手法がある。電場などを用いる制御手法には材料によって使用できないという制約があり、表面形状が能動的に変化する新しい摩擦材料の開発が今後重要になる。そこで本申請は3Dプリンタを用いて試作した内部構造を有する材料の内部圧力を制御することで能動的に表面形状が変形するスマートサーフェスの創製と評価を実施する。

2. 研究の目的

様々な相手面、摩擦条件下でも摩擦を安定的に制御する手法の開発が望まれている。本研究は表面の変形を能動的に制御することで摩擦を制御する手法の開発を目指す。また、申請者らが提案した3Dプリンタを用いた内部構造を有する耐摩耗材料の開発により、3Dプリンタを用いることで様々な特性を付加することが可能であると示された。本申請ではその変形構造により能動的な摩擦制御を可能としたスマートサーフェスの創製と評価を通じて幅広い環境下で安定的な摩擦を示す新しい材料の開発を目指す。

(1) 3Dプリンタを用いて製作したスマートサーフェスの創製と摩擦の能動的制御。従来申請者が考案した変形表面の構造であるが、これまで変形が戻らないという課題が存在した。ここでは、変形構造を最適化し可逆的な変形を達成するスマートサーフェスの開発を行う。

(2) 乾燥摩擦中におけるスマートサーフェスを用いた能動的摩擦制御と変形が摩擦特性に及ぼす影響の解明。表面形状の変形が接触状態に及ぼす影響を明らかにすることで、摩擦制御メカニズムを明らかにする。

(3) 潤滑下摩擦におけるスマートサーフェスを用いた能動的摩擦制御と変形が摩擦特性に及ぼす影響の解明。表面形状の変形が潤滑条件に及ぼす影響を明らかにすることで、摩擦制御メカニズムを明らかにする。

(4) 変形部位の独立制御を用いた摩擦の能動的制御および損傷部位回避技術の開発。変形表面の変形部の凸形状および凹形状をそれぞれ独立に制御することで、従来には不可能であった、接触部位を制御することによる摩擦の制御および相手面損傷部の回避技術などの新しい技術の開発に挑戦する。

3. 研究の方法

(1) 光硬化性樹脂を用いた3Dプリンタを用いてダイヤモンドを利用した変形構造を作成する。その試験片を新たに製作した摩擦面その場観察摩擦試験機に取り付け摩擦試験を実施する。新規開発された摩擦試験装置は、摩擦相手面がガラスで構築されており、光学顕微鏡で接触状態がその場観察可能な装置となっている。得られた摩擦係数およびその場観察の動画により各摩擦条件における接触、潤滑状態の解明を行う。

(2) 変形部独立制御はLabViewシステムを用いて実施する。LabViewに摩擦力を測定するロードセルの信号を取り込み、その値を低減させるまたは、安定させる制御を実施する。本実験では、エアシリンダーを用い変形表面を模擬した接触点制御機構を構築した。試験時には、摩擦相手面ディスクを回転させた際の摩擦係数を逐次測定する。その際に、接触点制御機構が相手面の回転に合わせて接触点を逐次変化させることで、摩擦の能動的制御を行う。接触点の変化を制御するアルゴリズムには遺伝的アルゴリズムを用いた。これを用いて回転が進むにつれどういった接触位置が低い摩擦係数を実現するかまた、相手面に損傷部などの摩擦係数を増大させる部分がある場合には、その位置を回避するような変形部位の逐次変形の達成に挑戦する。

4. 研究成果

(1) 可逆的な変形を可能とする変形表面スマートサーフェスの開発に成功した。このスマートサーフェスは図1のような断面構造を有しており、ダイヤフラム部に加わる圧力に応じて凹形状または凸形状となる。この複雑形状を実際に3Dプリンタにより作成したものが図2aの試験片である。この試験片を実際に変形させた場合の断面形状が図2bである。グラフからわかるように、本研究で提案した変形構造を用いることで変形前と変形後で約600 μm もの大きな変形を実現することに成功した。

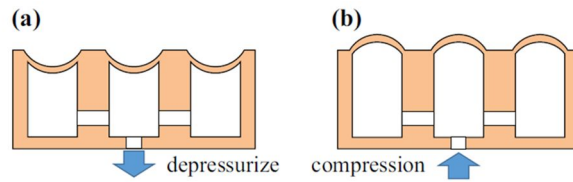


図1 可逆的な表面変形を可能とするスマートサーフェスの構造

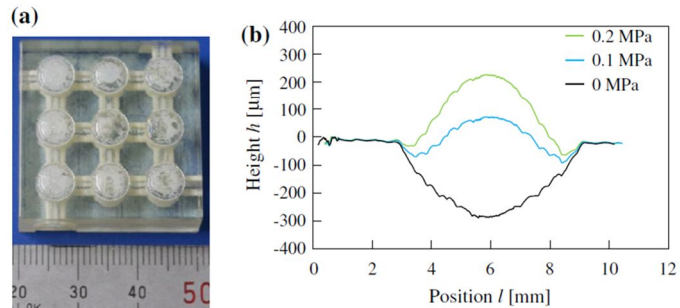


図2 (a)3Dプリンタにより作成したスマートサーフェス試験片と (b)変形状態の断面形状

(2) 製作した3Dプリンタを用いて試作したスマートサーフェスを用いた乾燥状態における摩擦試験を実施した。その結果、図3に示すように変形部の形状が凹状態の場合には0.3であった摩擦係数を凸状態にすることで1.0まで増加させることに成功した。また、凸形状の変形量を段階的に変化させることで摩擦係数も多段階に変化させることが可能であることが明らかとなった。

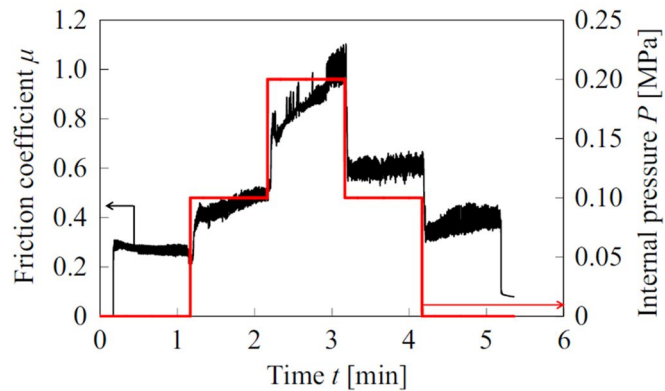


図3 変形による摩擦係数の多段階制御

(3) 水潤滑中の摩擦係数に関して、変形により潤滑状態を変化させることで凹状態の場合の摩擦係数を平坦試験片の0.07よりも小さい0.05に低減することに成功した。加えて、そのしゅう動条件で変形部形状を凸形状にすると摩擦係数が平坦試験片よりも大きな0.09となることが明らかとなった。つまり、潤滑条件下においても本研究で提案したスマートサーフェスを用いることでその潤滑状態を変化させ、摩擦係数を能動的に制御することが可能であることが明らかとなった。

(4) 貧油潤滑下摩擦試験の結果、凹形状の摩擦係数はフラット試験片の摩擦係数0.11より大きい0.17を示し、凸形状ではそれよりも小さい0.03を発現するという従来実現不可能であった能動的摩擦制御が可能となった。

(5) 「変形部変形状態の独立制御による摩擦制御」に関しては、遺伝的アルゴリズムを基としたプログラムの作成を実施した。この新規開発したプログラムは、摩擦相手平面に損傷部が存在する状況において、その部分を回避するように変形部を制御するものである。このプログラムを用いることで図4に示すように摩擦相手平面上に存在する損傷部が1つの場合には、学習が進むにつれて完全に損傷部を回避することが可能になり、さらに平均的な摩擦係数自体を低下させることにも成功した。

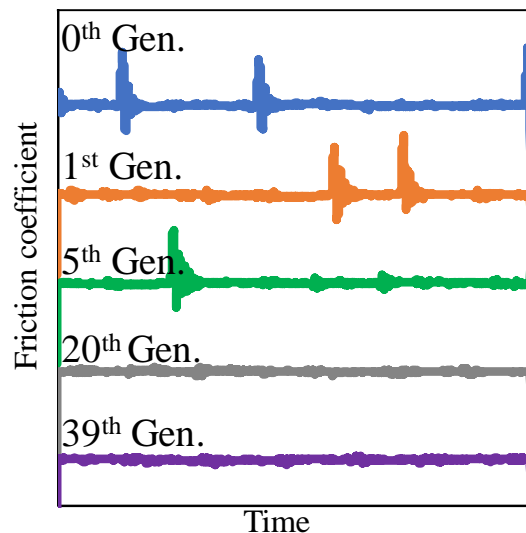


図4 学習により相手面損傷部との接触が減少していく様子

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Motoyuki Murashima, Shouta Yoshino, Masato Kawaguchi, Noritsugu Umehara	4. 巻 15
2. 論文標題 Intelligent tribological surfaces: from concept to realization using additive manufacturing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Mechanics and Materials in Design	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s10999-018-9435-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Motoyuki Murashima, Masato Kawaguchi, Masaya Tanaka, Noritsugu Umehara, Kouki Nemoto, Kouta Konishi and Kiichi Okuno	4. 巻 1
2. 論文標題 Wear Reduction by Increase of Contact Area with Inner Structure Made by 3D Printer	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of The 7th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology	6. 最初と最後の頁 0-FR-3-B-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Motoyuki Murashima, Masato Kawaguchi, Masaya Tanaka, Noritsugu Umehara, Kouki Nemoto, Kiichi Okuno and Kota Konishi	4. 巻 1
2. 論文標題 WEAR REDUCTION WITH INNER STRUCTURE MADE BY 3D PRINTER	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 7th International Conference on Mechanics and Materials in Design	6. 最初と最後の頁 Ref6610
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Motoyuki Murashima	4. 巻 1
2. 論文標題 The effect of inner structures created by 3D-additive manufacturing on wear reduction of 3D printed material	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of SAKURA Symposium on Mechanical Science and Engineering 2017	6. 最初と最後の頁 39-41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Motoyuki Murashima, Masato Kawaguchi, Noritsugu Umehara	4. 巻 1
2. 論文標題 Development of Morphing Surface made by Additive Manufacturing and Active Friction Control	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 2nd Korea-Japan Tribology Symposium	6. 最初と最後の頁 19-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Motoyuki Murashima, Masato Kawaguchi, Noritsugu Umehara	4. 巻 1
2. 論文標題 Multiple Friction Control using Morphing Surface -Smart Surface-	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of Taiwan-Japan Tribology Symposium 2018	6. 最初と最後の頁 18-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Motoyuki Murashima, Masato Kawaguchi, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama	4. 巻 1
2. 論文標題 Active Control of Hydrodynamic Lubrication Condition by Morphing Surface Created by 3D Printer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Japan-Taiwan Tribology Symposium 2019,	6. 最初と最後の頁 23-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Motoyuki Murashima, Takazumi Yamada, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama	4. 巻 1
2. 論文標題 Effect of Multiple Damages on AI Learning to Realize Stable Friction with Active Morphing Surface -Smart Surface-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of International Tribology Conference Sendai 2019	6. 最初と最後の頁 P1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yusuke Imaizumi, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama, Motoyuki Murashima,	4. 巻 1
2. 論文標題 Development of new active friction control system with morphing surface (Smart Surface) in dry condition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of International Conference on Manufacturins, Machine Design and Tribology 2019	6. 最初と最後の頁 FR-E-1-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takazumi Yamada, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama, Motoyuki Murashima,	4. 巻 1
2. 論文標題 Development of control method for friction stabilization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of International Conference on Manufacturins, Machine Design and Tribology 2019	6. 最初と最後の頁 FR-B-2-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yusuke Imaizumi, Motoyuki Murashima, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama,	4. 巻 1
2. 論文標題 Development of new active friction control system with morphing surface (Smart Surface) in poor lubrication oil	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of International Tribology Conference Sendai 2019	6. 最初と最後の頁 21-B-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takazumi Yamada, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama, Motoyuki Murashima	4. 巻 1
2. 論文標題 Development of control method for friction stabilization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of International Tribology Conference Sendai 2019	6. 最初と最後の頁 18-D-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 11件）

1. 発表者名 Motoyuki Murashima, Takazumi Yamada, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama
2. 発表標題 Effect of Multiple Damages on AI Learning to Realize Stable Friction with Active Morphing Surface -Smart Surface-
3. 学会等名 International Tribology Conference Sendai 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motoyuki Murashima, Masato Kawaguchi, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama
2. 発表標題 Active Control of Hydrodynamic Lubrication Condition by Morphing Surface Created by 3D Printer
3. 学会等名 Japan-Taiwan Tribology Symposium 2019, (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motoyuki Murashima, Masato Kawaguchi, Noritsugu Umehara
2. 発表標題 Development of Morphing Surface made by Additive Manufacturing and Active Friction Control
3. 学会等名 2nd Korea-Japan Tribology Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Motoyuki Murashima, Masato Kawaguchi, Noritsugu Umehara
2. 発表標題 Multiple Friction Control using Morphing Surface -Smart Surface-
3. 学会等名 Taiwan-Japan Tribology Symposium 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Motoyuki Murashima, Masato Kawaguchi, Masaya Tanaka, Noritsugu Umehara, Kouki Nemoto, Kouta Konishi and Kiichi Okuno
2. 発表標題 Wear Reduction by Increase of Contact Area with Inner Structure Made by 3D Printer
3. 学会等名 The 7th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Motoyuki Murashima, Masato Kawaguchi, Masaya Tanaka, Noritsugu Umehara, Kouki Nemoto, Kiichi Okuno and Kota Konishi
2. 発表標題 WEAR REDUCTION WITH INNER STRUCTURE MADE BY 3D PRINTER
3. 学会等名 7th International Conference on Mechanics and Materials in Design (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Motoyuki Murashima
2. 発表標題 The effect of inner structures created by 3D-additive manufacturing on wear reduction of 3D printed material
3. 学会等名 SAKURA Symposium on Mechanical Science and Engineering 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 村島基之, 吉野笙太, 梅原徳次
2. 発表標題 3Dプリンタを用いた変形表面の創製と能動的摩擦制御手法の開発-スマートサーフェスへの挑戦-
3. 学会等名 トライボロジー会議秋 高松
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 村島基之, 川口真人, 梅原徳次, 野老山貴行
2. 発表標題 形状変形表面(スマートサーフェス)を用いた摩擦の多段階能動的制御
3. 学会等名 日本機械学会第18回機素潤滑設計部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村島基之, 川口真人, 梅原徳次, 野老山貴行
2. 発表標題 3Dプリンタにより造形された変形表面による流体潤滑状態の能動的制御
3. 学会等名 トライボロジー会議2018春 東京
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村島基之
2. 発表標題 変形する表面(スマートサーフェス)を用いた摩擦の能動的制御
3. 学会等名 日本機械学科 IIP部門 未来技術ワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村島基之
2. 発表標題 変形する機能性表面を用いた摩擦の能動的制御 -スマートサーフェスへの挑戦-
3. 学会等名 トライボロジー 学会第1回機能性コーティングの最適設計技術研究会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yusuke Imaizumi, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama, Motoyuki Murashima,
2. 発表標題 Development of new active friction control system with morphing surface (Smart Surface) in dry condition
3. 学会等名 International Conference on Manufacturins, Machine Design and Tribology 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takazumi Yamada, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama, Motoyuki Murashima,
2. 発表標題 Development of control method for friction stabilization
3. 学会等名 International Conference on Manufacturins, Machine Design and Tribology 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yusuke Imaizumi, Motoyuki Murashima, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama,
2. 発表標題 Development of new active friction control system with morphing surface (Smart Surface) in poor lubrication oil
3. 学会等名 International Tribology Conference Sendai 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takazumi Yamada, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama, Motoyuki Murashima
2. 発表標題 Development of control method for friction stabilization
3. 学会等名 International Tribology Conference Sendai 2019, (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今泉友佑, 村島基之, 野老山貴行, 梅原徳次
2. 発表標題 高強度メタルスマートサーフェスを用いた次世代能動的摩擦制御システムの開発
3. 学会等名 第9回トライボロジー秋の学校in愛知
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田高澄, 村島基之, 梅原徳次, 野老山貴行
2. 発表標題 表面変形とAIの協調による表面損傷回避技術の開発
3. 学会等名 第9回トライボロジー秋の学校in愛知
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 村島基之他	4. 発行年 2019年
2. 出版社 株式会社潤滑通信社	5. 総ページ数 -
3. 書名 トライボロジスト 第64巻 第12号	

1. 著者名 村島基之他	4. 発行年 2019年
2. 出版社 株式会社潤滑通信社	5. 総ページ数 -
3. 書名 月刊潤滑経済 12月号	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 表面形状可変構造	発明者 村島基之, 梅原徳次, 吉野笙太	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特開2017-104600	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----